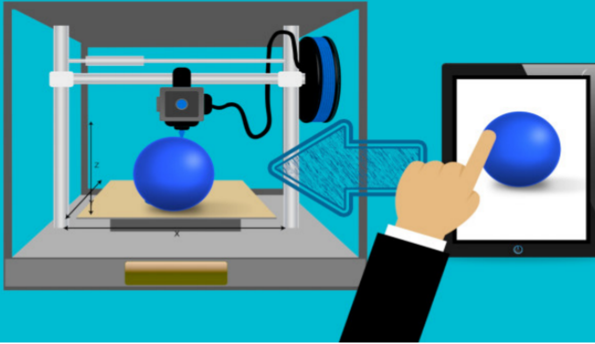
எளிய தமிழில் 3D Printing

இரா.அசோகன்



எளிய தமிழில் **3D Printing**

இரா. அசோகன்

FreeTamilEbooks.com

எளிய தமிழில் **3D Printing**

எளிய தமிழில் **3D Printing**

எளிய தமிழில் 3D Printing

இரா. அசோகன்

ashokramach@gmail.com

மின்னூல் வெளியீடு : FreeTamilEbooks.com

அட்டைப்படம் - லெனின் குருசாமி - guruleninn@gmail.com

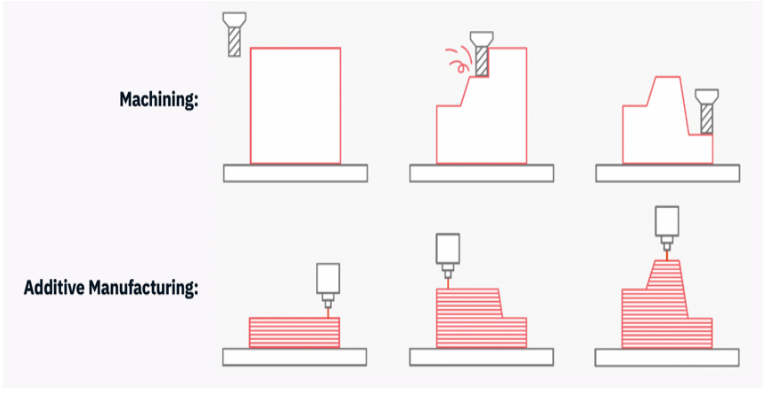
மின்னூலாக்கம் - ஐஸ்வர்யா லெனின் - aishushanmugam09@gmail.com

This book was produced using pandoc

பதிவிறக்கம் செய்ய - http://FreeTamilEbooks.com/ebooks/3D_printing_in_tamil

மின்னூல் வெளியீட்டாளர்: http://freetamilebooks.com
அட்டைப்படம்: லெனின் குருசாமி - guruleninn@gmail.com
மின்னூலாக்கம்: ஐஸ்வர்யா லெனின் - aishushanmugam09@gmail.com
மின்னூலாக்க செயற்திட்டம்: கணியம் அறக்கட்டளை - kaniyam.com/foundation

Ebook Publisher: http://freetamilebooks.com
Cover Image: Lenin Gurusamy - guruleninn@gmail.com
Ebook Creation: Iswarya Lenin - aishushanmugam09@gmail.com
Ebook Project: Kaniyam Foundation - kaniyam.com/foundation



பொருள்நீக்கு உற்பத்தியும் பொருள்சேர் உற்பத்தியும்

பொருள்சேர் உற்பத்தி

முப்பரிமாண அச்சுருவாக்கம் அல்லது அச்சிடல் (3D Printing) என்பது பரவலாகப் பயன்படுத்தப்படும் சொற்றொடர். எனினும் பொருள்சேர் உற்பத்தி (Additive Manufacturing) என்பதே இதற்கு தொழில்நுட்ப ரீதியாக சரியான பெயர். இதையே மேசைப்புனைவு (desktop fabrication) என்றும் சொல்கிறார்கள். இதை ஏன் பொருள்சேர் உற்பத்தி என்று சொல்கிறோம் என்று முதலில் பார்ப்போம்.

பொருள்நீக்கு உற்பத்தி **(Subtractive manufacturing)**

ஒரு குறிப்பிட்ட வடிவத்திலும் அளவிலும் ஒரு பாகம் தயாரிக்க வேண்டுமென்றால் அதைவிடப் பெரிய மூலப் பொருளை எடுத்து அதைக் கடைசல் (Lathe) மற்றும் துருவல் (Milling machine) போன்ற இயந்திரங்கள் மூலமாகத் தேவையான அளவுக்கும், வடிவத்துக்கும் வெட்டிக் குறைப்பதுதான் வழக்கமாக தொழிற்சாலைகளில் பயன்படுத்தப்படும் உற்பத்தி செயல்முறை. இதை இயந்திர வெட்டு (machining) அல்லது பொருள்நீக்கு உற்பத்தி (subtractive manufacturing) என்று சொல்லலாம்.

இதற்கு மாறாக கணினி கட்டுப்பாட்டின்கீழ் பொருளை ஒவ்வொரு படிவம் படிவமாக (layer by layer) சேர்த்தோ அல்லது உருக்கித் திடப்படுத்தியோ முப்பரிமாண பாகத்தை உருவாக்கும் பல்வேறு செயல்முறைகளை பொருள்சேர் உற்பத்தி (Additive Manufacturing) அல்லது முப்பரிமாண அச்சிடல் (3D

Printing) என்கிறோம். குறிப்பிட்ட அளவு மற்றும் வடிவத்தில் ஒரு பாகத்தைத் தயாரிக்க வேண்டுமென்றால் வழக்கமாக உலோக வெட்டு செயல்முறையில் பொருளை வெட்டி அகற்றுகிறோம். மாறாக முப்பரிமாண அச்சிடலில் துகள் (powder) அல்லது நுண்ணிழைப் (filament) பொருளை உருக்கி படிவம் படிவமாகச் சேர்க்கிறோம். ஆகவேதான் இம்முறையைப் பொருள்சேர் உற்பத்தி என்று சொல்கிறோம்.

3D வடிவமைப்பில் தொடங்கி பாகத்தை விரைவாக உருவாக்கும் செயல்முறை

இதன் பொதுவான செயல்முறை அடிப்படையில் நம் வீடுகளில் வடகம் பிழிவது போன்றது. அல்லது கேக் தயாரித்து அதன்மேல் கோபுரம் அல்லது வேறு பல வடிவில் ஐசிங் (icing) அலங்காரம் செய்வதுபோல்தான். படிவத்தின் மேல் படிவமாகப் பிழிந்து நமக்குத் தேவையான வடிவத்தை உருவாக்கவேண்டும்.

இது ஒரு முப்பரிமாண வடிவமைப்பில் தொடங்கி உண்மையான முன்மாதிரி பாகத்தை விரைவாக உருவாக்கும் செயல்முறை. பல கணினிவழி வடிவமைப்பு (Computer Aided Design – CAD) மென்பொருட்கள் முப்பரிமாண அச்சிடலுக்கு ஆதரவளிக்கும் வகையில் STL போன்ற வடிவக் கோப்பு உண்டாக்கவல்லவை. ஆகவே எண்ணிம முப்பரிமாண வடிவமைப்பை STL அல்லது அது போன்ற மற்றொரு வடிவத்தில் சேமித்து முப்பரிமாண அச்சுப்பொறிக்கு அனுப்பிவிடலாம். முப்பரிமாண அச்சுப்பொறி படிவம் படிவமாக அச்சிட்டு நாம் வடிவமைத்த பாகத்தை உருவாக்குகிறது.

தனித்துவ வடிவத்தில் பாகங்களை விரைவாக உருவாக்க இயலும்

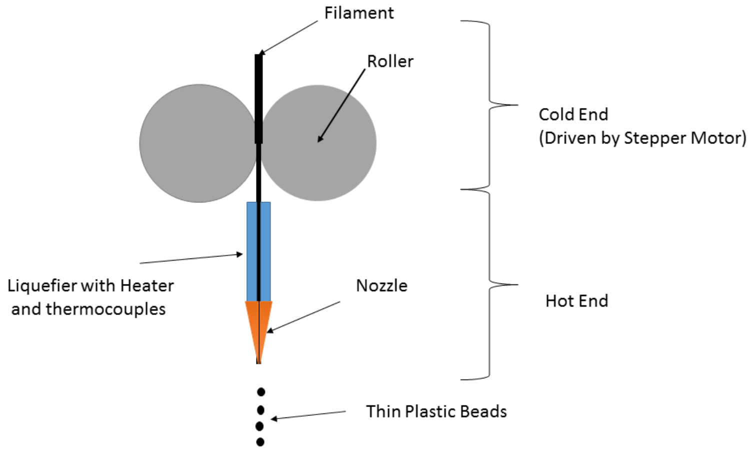
ஒரே வடிவத்தில் பலநூறு அல்லது பல்லாயிரம் பாகங்களை உருவாக்க வேண்டுமென்றால் பொருள்நீக்கு உற்பத்திதான் துரிதமாக வேலை செய்யும். கணினி எண்ணிம கட்டுப்பாட்டு (Computer Numerically Controlled – CNC) கடைசல் (lathe) மற்றும் துருவல் எந்திரங்கள் (milling machine) உலோக வெட்டு எந்திரங்கள். இவற்றைக் கொடுத்த வடிவத்துக்கு அமைத்துவிட்டால் விரைவாக பாகங்களை வெட்டித்தரும். ஆனால் தனித்துவமான வடிவங்களில் ஒன்றிரண்டு பாகங்களே தேவையென்றால் பொருள்சேர் உற்பத்திதான் மிகவும் தோதானது.

சிக்கலான வடிவவியலுடன் பாகங்களை உருவாக்க இயலும்

வழக்கமான பொருள்நீக்கு உற்பத்தி முறையில் தயாரிக்கக் கடினமான வடிவமைப்பு உள்ள பாகங்களைக் கூட இதில் எளிதாகத் தயாரிக்கலாம். ஏனெனில் இம்முறையில் நாம் படிவம் படிவமாக வடிவமைப்பை உருவாக்குகிறோம்.

பேரளவு தனிப்பயனாக்கம் **(mass customizations)** செய்ய இயலும்

முதல் முதலில் பேரளவு முறையில் கார்களைத் தயாரித்தவர் ஹென்றி ஃபோர்ட் (Henry Ford). “நீங்கள் எந்த வண்ணத்தைக் கேட்டாலும் தயாரித்துத் தர முடியும்; ஆனால் நீங்கள் கருப்பு வண்ணம் மட்டுமே கேட்கலாம்” என்று அவர் கூறியது நன்கு அறியப்பட்டது. ஏனெனில் பேரளவு தயாரிக்கும் தொழில்நுட்பத்தில் எதையும் மாற்றுவது கடினம். ஆனால் இந்தத் தொழில் நுட்பத்தை வைத்து பேரளவும் தயாரிக்க முடியும், ஒவ்வொருவருக்கும் தேவைக்கேற்ப மாற்றிக் கொள்ளவும் முடியும்.



3-D Printer Extruder

இழையை உருக்கிப் புனையும் செயல்முறை

இழையை உருக்கிப் புனைதல்

உலோகம் உட்பட பலவிதமான பொருட்களைப் பயன்படுத்தக்கூடிய பலவிதமான தொழில்நுட்பங்கள் பொருள்சேர் உற்பத்திக்குப் புழக்கத்தில் வந்துவிட்டன. இருப்பினும் பயிற்சி மற்றும் பொழுதுபோக்கு வேலைகளுக்கு இழையை உருக்கிப் புனைதல் (Fused Filament Fabrication – FFF) தொழில்நுட்பமே பரவலாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இதையே உருகிய படிதல் மாதிரியமைத்தல் (fused deposition modeling – FDM) என்றும் சொல்கிறார்கள். இந்த செயல்முறை மூலம் நெகிழி (plastic) பாகங்களை உருவாக்கலாம். இதற்கான எந்திரங்கள் யாவரும் அணுகக்கூடிய வகையில் பள்ளிகளிலும், கல்லூரிகளிலும், அருங்காட்சியகங்களிலும் வந்துவிட்டதால் இவை எவ்வாறு வேலை செய்கின்றன என்று முதலில் பார்ப்போம்.

பயிற்சி மற்றும் பொழுதுபோக்குத் தர **3D** அச்சிடல்

உலோகம் போன்ற கடினமான பொருட்களைவிட நெகிழி போன்ற எளிதாக உருக்கிப் புனையக்கூடிய பொருட்களே பயிற்சி மற்றும் பொழுதுபோக்கு வேலைகளுக்குத் தோதானவை. மற்ற தொழில்நுட்பங்கள் இதைவிட அளவில் துல்லியமான, வலுவான, சீர்மையான மேற்பரப்பு கொண்ட பாகங்களை உருவாக்கலாம். இருப்பினும்

இத்தொழில்நுட்பம் மிகவும் எளிதானது. ஆகவே இந்த எந்திரங்கள் குறைந்த விலையில் கிடைக்கின்றன. மேலும் இவற்றை இயக்குவதும் மிகக் கடினமல்ல.

விரிவான செயல்முறை

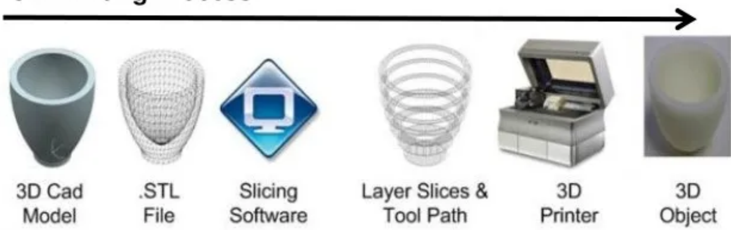
நெகிழி (plastic) போன்ற ஒரு வெப்பத்தால் இளகும் (thermoplastic) பொருளின் இழைச்சுருளை இந்த செயல்முறை பயன்படுத்துகிறது. அச்சுப்பொறியின் தலையில் (printer head) நுண்துளை கொண்ட கூம்புக்குழாய் (nozzle) உள்ளது. இது சுருளிலிருந்து வரும் இழையைச் சூடாக்கி, இளக்கி திரவத் துளிகளாக வெளியிடும். இவை உருவாக்கிவரும் பணிப்பொருளில் படிவம் படிவமாக மேல்வைக்கப்படும். அச்சுப்பொறியின் தலை கணினியின் கட்டுப்பாட்டில் பாகத்தின் வடிவத்துக்குத் தேவையான பாதையில் நகரும்.

முதலில் ஒரு பரப்பில் படிய விடும்போது கிடைமட்டத்தில் இரு பரிமாணங்களில் அச்சுத் தலை நகர்கிறது. அந்தப் பரப்பு முடிந்த பின்னர் மேல் பரப்புக்குச் செல்ல அச்சுத் தலை ஒரு சிறிய அளவு செங்குத்தாக மேல்நோக்கி நகர்கிறது. இவ்வாறே படிவம் படிவமாக பாகத்தின் முழு வடிவத்தையும் உருவாக்குகிறது.

இழைப் பொருட்கள் **(filament materials)**

பாலிஸ்டைரின் (polystyrene), பாலியூரிதேன் (polyurethane), நைலான் (nylon), ABS, PLA போன்ற பல்வேறு வகையான நெகிழிகளைப் பயன்படுத்தி முப்பரிமாண அச்சிடும் எந்திரங்கள் சந்தையில் வந்துவிட்டன.

உருகிய இழை புனைவு தவிர முப்பரிமாண அச்சிடல் அல்லது பொருள்சேர் உற்பத்திக்கு வேறுபல தொழில்நுட்பங்கள் உள்ளன.

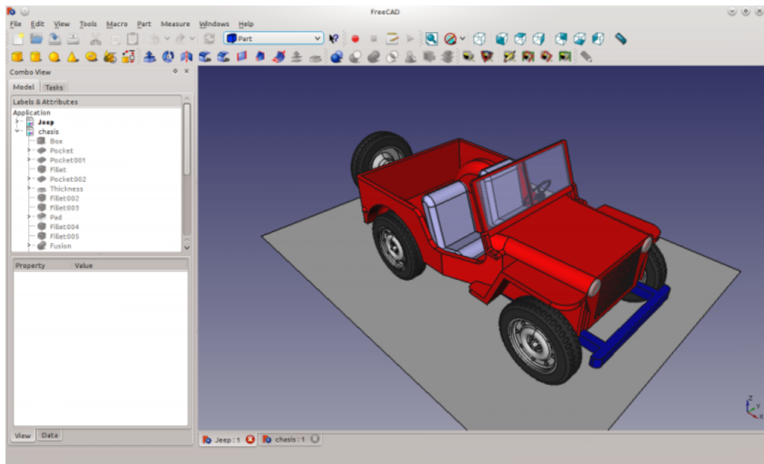


3D அச்சு செயல்முறைப் படிகள்

செயல்முறைப் படிகள் (process steps)

வடிவமைப்பு உருவாக்குதல்

நமக்குத் தேவையான வடிவத்தை உருவாக்க முதலில் ஒரு கணினி வழி வடிவமைப்பு (Computer Aided Design – CAD) மென்பொருள் தேவை. இதற்கு சில திறந்த மூல மென்பொருட்கள் பற்றி பின்னர் விரிவாகப் பார்ப்போம். இந்த மென்பொருளைப் பயன்படுத்தி நாம் நமக்குத் தேவையான வடிவமைப்பை முதல்படியாகத் தயார் செய்து கொள்ள வேண்டும்.



3D வடிவமைப்புக் கருவி ப்ரீகேட்

வடிவமைப்புக்குத் திறந்தமூல மென்பொருட்கள்

பாகத்தை வடிவமைப்பதுதான் முக்கிய வேலை

நாம் பொருள்சேர் உற்பத்தி முறையில் ஒரு பாகத்தை உருவாக்க வேண்டுமென்றால் அதற்கு முக்கிய வேலை அதை வடிவமைப்பது தான். ஆகவே இந்த வேலைக்கு என்னென்ன திறந்த மூல மென்பொருட்கள் உள்ளன அவற்றின் அம்சங்கள் யாவை என்று முதலில் பார்ப்போம்.

அளவுரு மாதிரியமைத்தல் **(parametric modeling)**

நாம் ஒரு சிக்கலான வடிவத்தை பல படிகளில் உரு மாற்றங்கள் செய்து தயாரித்து முடித்திருக்கிறோம் என்று வைத்துக் கொள்வோம். இதை சேமித்து வைக்க நாம் இரண்டு விதமான உத்திகளைக் கையாளலாம். முதல் வழி நமக்குக் கடைசியாக கிடைத்த வடிவத்தை மட்டும் அப்படியே சேமித்து வைப்பது. இதை நேரடி மாதிரியமைத்தல் (Direct modeling) என்று சொல்கிறார்கள். மற்றொன்று நாம் எந்த வடிவத்தில் தொடங்கினோம், என்னென்ன செய்து இந்த சிக்கலான வடிவத்துக்கு வந்து சேர்ந்தோம் என்ற வழிமுறைகளைச் சேமித்து வைப்பது. இதை அளவுரு மாதிரியமைத்தல் (parametric modeling) என்று சொல்கிறார்கள். நாம் கீழே

பார்க்கும் திறந்தமூல மென்பொருட்கள் யாவையும் அளவுரு மாதிரியமைத்தல் முறையையே பின்பற்றுகின்றன.

எளிதாக நிறுவி இயக்க சால்வ்ஸ்பேஸ் **(Solvespace)**

இது விண்டோஸ், லினக்ஸ் மற்றும் மேக் கணினிகளில் இயங்குகிறது. விண்டோஸ் கணினிகளில் நிறுவ வேண்டிய அவசியம் கூட இல்லை. EXE கோப்பு அப்படியே ஓடும். இது சிறிய கோப்பு ஆகையால் உங்கள் கணினியில் அதிக இடத்தையும் எடுத்துக் கொள்ளாது. இதில் வடிவத்தை உருவாக்கி எஸ் டி எல் (STL) கோப்பு வகையாக ஏற்றுமதி செய்து முப்பரிமாண அச்சிடல் (3D Printing) எந்திரங்களில் பயன்படுத்தலாம்.

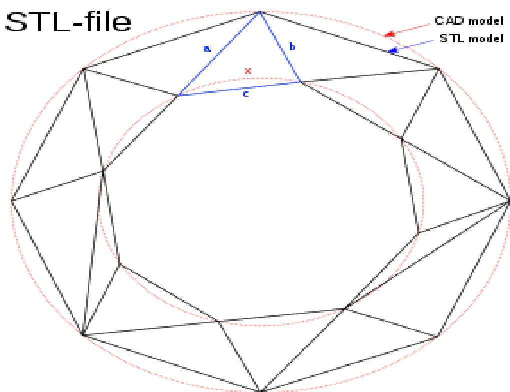
மிகுதியான அம்சங்களுக்கு ப்ரீகேட் **(FreeCAD)**

சால்வ்ஸ்பேஸ் செய்யும் எல்லா வேலைகளையும் ப்ரீகேட் செய்ய முடியும். தவிர மேலும் பல வேலைகளையும் செய்ய முடியும். இயந்திரவியல் (mechanical engineering), கட்டடக்கலை (architecture), எந்திரன் அசைவுகள் (robot movements) போன்ற பல துறைகளுக்கு வடிவமைப்புகள் செய்யமுடியும். இம்மாதிரி ஒவ்வொரு வேலையும் செய்யக்கூடிய கருவிகளின் குழுக்கள் கொண்ட பணி மேடைகள் உள்ளன. பொருள்சேர் உற்பத்திக்கு STL, OBJ மற்றும் AMF கோப்பு வடிவில் ஏற்றுமதி செய்ய இயலும்.

பிளெண்டர் **(Blender)**

இது அசைவூட்டங்கள் உருவாக்க உதவும் மென்பொருள். இருப்பினும் இந்த மென்பொருளில் உங்களுக்குப் பழக்கமிருந்தால் 3D வடிவமைப்புக்கு இதைப் பயன்படுத்தலாம். பொருள்சேர் உற்பத்திக்கு STL மற்றும் OBJ கோப்பு வடிவில் ஏற்றுமதி செய்ய

இயலும்.



STL கோப்பு வடிவம்

கோப்பு வடிவங்கள்

முப்பரிமாணப் பொருளை அச்சிட, ஒரு 3D அச்சுப்பொறிக்கு பொருளின் எண்ணிம வரைபடம் தேவை. இது வடிவியல், நிறம், அமைப்பு மற்றும் மூலப்பொருட்கள் போன்ற நம் பாகத்தைப் பற்றிய அனைத்து தொடர்புடைய தரவுகளையும் சேமிக்கும் ஒரு கோப்பு. அத்தகைய தரவை வைத்திருக்கக்கூடிய பல கோப்பு வடிவங்கள் உள்ளன.

உங்களிடமுள்ள வடிவமைப்பு மென்பொருட்கள் எந்தவிதமான கோப்பு வகையில் சேமிக்க முடியும் அல்லது ஏற்றுமதி செய்ய முடியும் என்று பாருங்கள். மேலும் நீங்கள் பயன்படுத்தப்போகும் சீவுதல் மென்பொருள் மற்றும் முப்பரிமாண அச்சு எந்திரத்தில் எந்தவிதமான கோப்பு வகையை உள்ளீடு செய்ய முடியும் என்று பாருங்கள். இவற்றைப் பொருத்து எந்தக் கோப்பு வடிவத்தில் சேமிப்பது என்று முடிவு செய்யலாம்.

STL கோப்பு வடிவம்

வழக்கமான ஒருவகை அச்சுக்கலைக்கு Lithography என்று பெயர். அச்சிட்ட மின்சுற்றுப்பலகை (printed circuit board) தயாரிப்புக்கும் இந்த முறை பயன்படுத்தப்படுகிறது. இதேபோல முப்பரிமாணத்தில் அச்சிடுவதால் Stereolithography என்று பெயர் வைத்தனர். ஆகவே இதற்கான கோப்புகளுக்கு .STL என்று பெயர் வைத்தனர். இதற்கு ஒளித் திண்மமாக்கல் (photo-solidification) என்ற

மற்றொரு பெயருமுண்டு. இந்தக் கோப்பு வடிவம் வளைந்த மேற்பரப்பைக் குறிப்பதற்கு படத்தில் காண்பது போல் முக்கோண ஓடுகளைப் பயன்படுத்துகிறது. மேற்பரப்பு சீர்மை தேவைக்கு ஏற்ப சிறிய முக்கோணங்களைப் பயன்படுத்தலாம்.

OBJ கோப்பு வடிவம்

STL கோப்பு வடிவத்தில் வண்ணத் தகவலைச் சேமிக்க முடியாது என்பதால், OBJ வடிவம் பல வண்ணங்களில் ஒரு பாகத்தை அச்சிடுவதற்கு தோதான கோப்பு வடிவமாகும்.

AMF கோப்பு வடிவம்

இந்த Additive manufacturing file format (AMF) கோப்பு வடிவம் தொழில்துறை செந்தரமாக (industry standard) உருவாக்கப்பட்டது. நிறம், மூலப்பொருட்கள், பின்னல்கள் (lattices) போன்ற அம்சங்களுக்கு ஆதரவைக் கொண்டுள்ளது.

3MF கோப்பு வடிவம்

இது தொடக்கத்தில் மைக்ரோசாப்ட் நிறுவனத்தால் உருவாக்கப்பட்டது. பின்னர் ஒரு தொழில்துறை கூட்டமைப்பை (industry consortium) உருவாக்கி அவர்களிடம் ஒப்படைத்தனர். இந்தத் தரநிலை தொடர்ந்து கட்டற்ற திறந்த மூலமாக இருக்குமா என்று கவனித்துப் பார்க்க வேண்டும்.



முப்பரிமாண வடிவமைப்பை சீவுதல்

திறந்தமூல சீவுதல் மென்பொருட்கள்

நாம் பாகத்தின் வடிவத்தை ஒரு கணினி வழி வடிவமைப்பு (CAD) மென்பொருளை வைத்து உருவாக்கி விட்டோம் என்று வைத்துக் கொள்வோம். நம் மூலப்பொருள் மற்றும் எந்திரத்தின் திறனைப் பொருத்து தடிமன் வைத்து அந்த பாகத்தை படிவம் படிவமாக சீவிக் கொள்ள வேண்டும். ஒவ்வொரு படிவத்திற்கும் நம் அச்சு எந்திரத்தின் தலை முன்னும் பின்னும் செல்ல வேண்டும். ஒரு படிவம் முடிந்தபின் அந்தப் படிவத்தின் தடிமன் அளவு மேல் நோக்கி நகர வேண்டும்.

இம்மாதிரி அச்சு எந்திரத்தின் தலை நகர வேண்டிய பாதையை விவரமாகத் தயாரிக்க உதவுவதுதான் சீவுதல் மென்பொருள் (slicer). சீவுதல் மென்பொருள் உங்கள் பாகத்தின் முப்பரிமாண வடிவமைப்பில் (STL அல்லது OBJ கோப்பு) தொடங்கி அச்சுப்பொறியின் கருவிப்பாதையை (tool path) g-நிரல் (g-code) கோப்பு வடிவில் உருவாக்குகிறது. உங்கள் அச்சு எந்திரத்தின் நுனிக்குழல் (nozzle) விட்டம், அச்சிடுதல் வேகம், அடுக்கு உயரம் மற்றும் பிற தேர்வுகளை உங்களுக்குத் தோதாக அமைத்துக் கொள்ளலாம்.

ஸ்லைசர் **(Slic3r)**

முப்பரிமாணப் பொருளை அச்சிட STL, OBJ, AMF,

3MF என நான்கு வகையான கோப்புகளைப் பயன்படுத்தலாம் என்று முந்தைய கட்டுரையில் பார்த்தோம். இந்த நான்கு வகையான கோப்புகளையும் ஸ்லைசர் உள்ளீடாக எடுத்துக் கொள்ளும். எல்லா இயந்திரத் தயாரிப்பாளர்களும் g-நிரல் (g-code) மொழியைத்தான் பயன்படுத்துகிறார்கள். எனினும் சிற்சில கிளைமொழிகள் (dialects) உண்டு. ஸ்லைசர் எல்லா கிளைமொழிகளுக்கும் ஆதரவளிக்கிறது. இது லினக்ஸ், விண்டோஸ் மற்றும் மேக் கணினிகளிலும் ஓடும்.

தொழில்துறை உற்பத்திக்கு அல்டிமேக்கர் கியூரா **(Ultimaker Cura)**

அல்டிமேக்கர் என்ற 3D அச்சு எந்திரம் தயாரிக்கும் நிறுவனம் இதை உருவாக்கித் திறந்த மூலமாக வெளியிடுகிறது. இது வணிகரீதியாக முப்பரிமாண அச்சிடல் உற்பத்தி செய்யும் நிறுவனங்களுக்குத் தோதானது.

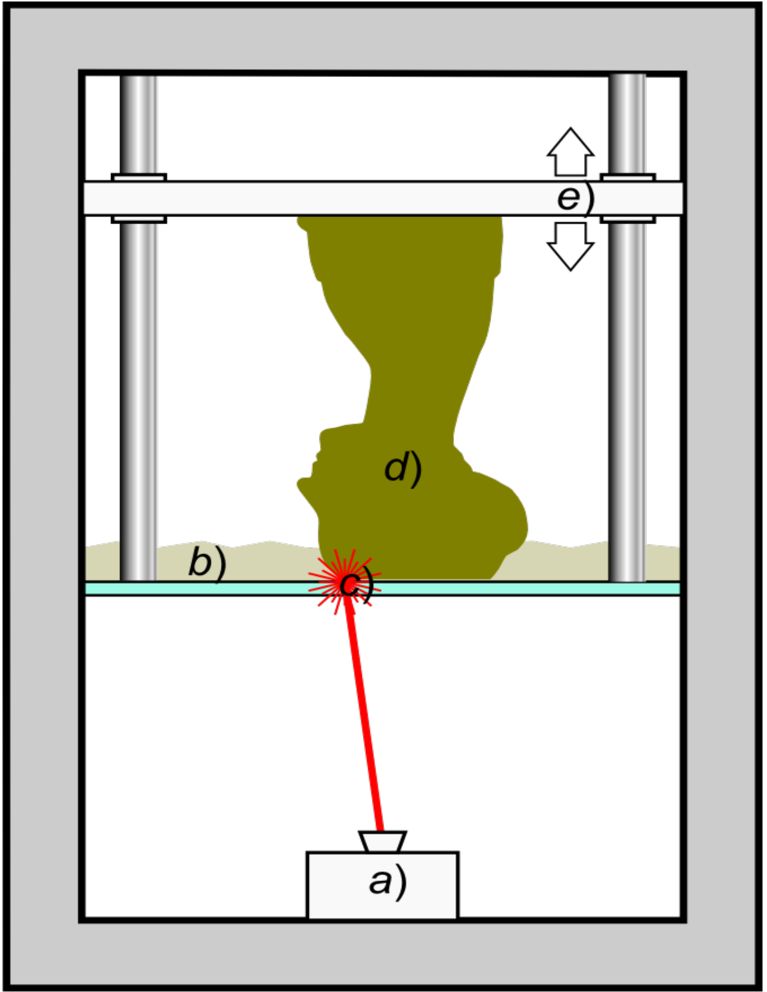
நுகர்வோருக்கு புரூசா ஸ்லைசர் **(PrusaSlicer)**

இது ஸ்லைசர் மென்பொருளை அடிப்படையாக வைத்து உருவாக்கப்பட்டது. இதுவும் 3D அச்சு எந்திரம் தயாரிக்கும் நிறுவனம்தான். இதுவும் லினக்ஸ், விண்டோஸ் மற்றும் மேக் கணினிகளிலும் ஓடும். சந்தையில் கிடைக்கும் நூற்றுக்கும் மேற்பட்ட நெகிழி வகைகள் மற்றும் இழைகளுக்குத் தகுந்த மாதிரி அளவுறுக்கள் தயார் செய்து பயன்படுத்த ஆயத்தமாகக் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. இது சிறு நிறுவனங்கள், கலைஞர்கள், பயிற்சி மற்றும் பொழுதுபோக்கு வேலைகளுக்குத் தோதானது.

சூப்பர் ஸ்லைசர் **(SuperSlicer)**

இது புரூசா ஸ்லைசர் மென்பொருளை

அடிப்படையாக வைத்து அதில் சாத்தியமானதைவிட அதிக கட்டுப்பாட்டை வழங்குவதற்காக உருவாக்கப்பட்டது. மேலும் பல அளவுறுக்களை இதில் கட்டுப்படுத்த முடியும்.



ஒளித் திண்மமாக்கல்

ஒளித் திண்மமாக்கல் (photo-solidification)

பொருள்சேர் உற்பத்திக்கு பலவிதமான செயல்முறைகள் உள்ளன. பாகங்களை உருவாக்க அடுக்குகள் கட்டும் விதத்திலும், பயன்படுத்தப்படும் மூலப்பொருட்களிலும்தான் இவை முக்கியமாக வேறுபடுகின்றன. ஒரு இயந்திரத்தை நாம் தேர்ந்தெடுப்பதில் முக்கிய காரணங்கள் அதன் வேகம், அதன் விலை, பாகத்தை அச்சிட ஆகும் செலவு, எம்மாதிரிப் பொருட்களில் அச்சிட இயலும் ஆகியவையே. இழையை உருக்கிப் புனைதல் தவிர மற்ற சில செயல்முறைகளைப் பற்றிப் பார்ப்போம்.

ஒளி பட்டால் திண்மமாகும் நெகிழி **(photopolymers)** திரவங்கள்

ஒளி பட்டால் திண்மமாகும் நெகிழி (photopolymers) திரவங்கள் உள்ளன. இம்மாதிரி திரவங்களில் நமக்குத் தேவையான வடிவில் ஒளியைப் பாய்ச்சலாம். இதன் மூலம் நமக்குத் தேவையான முப்பரிமாண பாகம் மட்டுமே திண்மமாகிவிடும். முப்பரிமாண அச்சிடல் (stereolithography) எண்ணிம ஒளி செயல்படுத்தல் (Digital Light Processing – DLP) ஆகியவை இவ்வகையில் அடங்கும்.

அதாவது ஒருவித பிசின் அல்லது திரவத்தில் புற ஊதா ஒளிக் (ultraviolet light) கற்றைகளைத் தேவையான அடர்த்தியில் பாய்ச்சும்போது புற ஊதா

ஒளி பட்ட இடம் மட்டும் திடப்பொருளாக மாற்றம் அடையும். இம்மாதிரிப் பொருட்களை ஒளிக் கூருணர்வு (photo-sensitive) என்று சொல்கிறோம். இந்தப் பண்பை வைத்து நமக்குத் தேவையான முப்பரிமாண வடிவத்தை உருவாக்குமாறு தொழில்நுட்பம் மேம்படுத்தப்பட்டுள்ளது. இத் தொழில்நுட்பம் ஒளித் திண்மமாக்கல் (photo-solidification அல்லது Stereolithography – SLA) என்று அழைக்கப்படுகிறது. இதையே ஒளிப்புனைவு (optical fabrication) அல்லது பிசின் அச்சிடல் (resin printing) என்றும் சொல்கிறார்கள்.

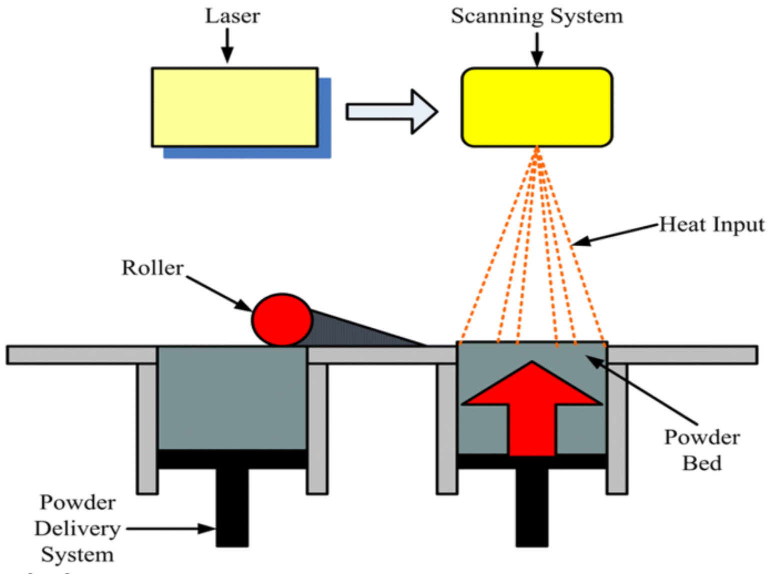
ஒளி ஊடுருவும் அடிப்பகுதி கொண்ட தொட்டி

இதற்கு ஒரு ஒளி ஊடுருவும் அடிப்பகுதி கொண்ட தொட்டியைப் பயன்படுத்துகிறோம். தொட்டியின் கீழ் வழியாக புற ஊதாக் கதிர் (Ultra-violet rays) அல்லது கருநீல சீரொளியை (deep**lue laser) மேல்நோக்கி அடிப்பதன் மூலம் பொருட்களை கீழே இருந்து அச்சிட முடியும். அச்சிடத் தொடங்கும்போது பிசின் நிரப்பப்பட்டத் தொட்டியின் அடிப்பகுதியைத் தொடுமாறு உருவாக்கும் மேடையை கீழ்நோக்கி நகர்த்துகிறோம். பின்னர் ஒரு அடுக்கின் உயரத்துக்கு மேல்நோக்கி நகர்த்துகிறோம். பின்னர் தொட்டியின் ஒளி ஊடுருவும் அடிப்பகுதி வழியாக சீரொளி விரும்பிய பாகத்தின் அடிப்பக்க அடுக்கை எழுதுகிறது.

பின்னர் தொட்டியை ஒரு அடுக்கு அளவு மேலே தூக்குகிறோம். திண்மமான அடுக்கு உருவாக்கும் மேடையுடன் ஒட்டிக்கொண்டு மேலே நகரும். புதிய திரவம் இடைவெளியில் பாயும். சீரொளி அடுத்த அடுக்கை எழுதி செயல்முறையை மீண்டும் தொடர்கிறது.

ஒளித் திண்மமாக்கலின் மற்ற செயல்முறைகள் LCD மறைத்தல் (LCD masking) அல்லது DLP

திரைப்படக்கருவி (DLP projector) பயன்படுத்தி ஒவ்வொரு அடுக்கையும் உருவாக்குகின்றன.



சீரொளி சிட்டங்கட்டல்

சீரொளி சிட்டங்கட்டல் (laser sintering)

சிட்டங்கட்டல் என்பது துகள்களை முழுவதும் திரவமாக உருக்காமல் வெப்பம் மற்றும் அழுத்தம் கொடுத்து இறுக்குதல் அல்லது கெட்டித்தல் மூலம் ஒரு திடமான பொருளை உருவாக்கும் செயல்முறை. இது துகள்களை ஒன்றாக இணைத்து ஒரு திடமான பாகத்தை உருவாக்குகிறது. சீரொளி தேர்வு சிட்டங்கட்டல் (selective laser sintering – SLS) மற்றும் நேரடி உலோக சீரொளி சிட்டங்கட்டல் (Direct metal laser sintering – DMLS) இதில் அடங்கும். அடிப்படையில் இவை ஒரே மாதிரியானவை. நெகிழி, கண்ணாடி, பீங்கான் போன்ற பலவகையான பொருட்களுக்கு SLS செயல்முறை பயன்படுத்தப்படுகிறது. DMLS என்பது உலோகக் கலவைகளுக்குப் பயன்படுத்தப்படும் செயல்முறையைக் குறிக்கிறது. இழையை உருக்கிப் புனைதலுக்கு (Fused Filament Fabrication – FFF) அடுத்தபடியாக இவை 3D அச்சு வேலைக்குப் பரவலாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

சீரொளி தேர்வு சிட்டங்கட்டல் **(selective laser sintering – SLS)**

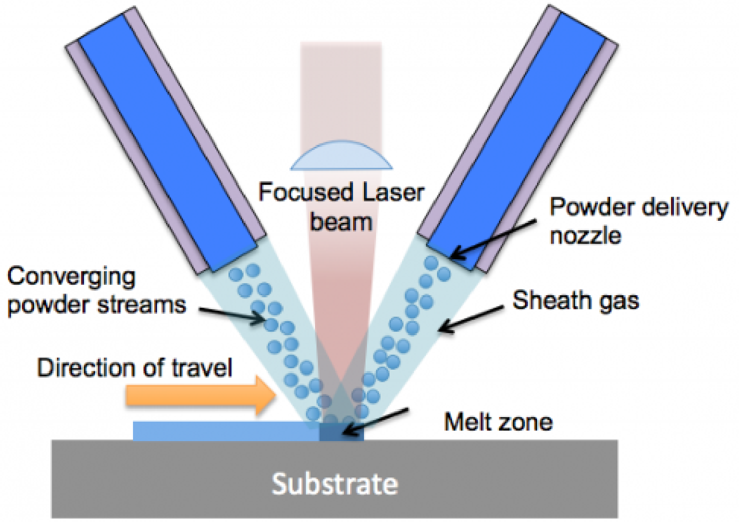
SLS க்கு அதிக சக்திவாய்ந்த ஒளிக்கதிர்கள் தேவைப்படுவதால் இந்த இயந்திரம் இழையை உருக்கிப் புனையும் இயந்திரத்தை விட மிகவும் விலை உயர்ந்தது. மேலும் சீரொளி

பயன்படுத்துவதால் வீட்டில் பயன்படுத்த மிகவும் ஆபத்தானது.

உருகும் நிலைக்கு சற்றே கீழான வெப்பநிலை வரை தூளை முன்கூட்டியே சூடாக்கிவிடும். சீரொளி துரிதமாக வேலை செய்ய இது உதவுகிறது.

சீரொளி நேரடி உலோக சிட்டங்கட்டல் **(Direct Metal Laser Sintering – DMLS)**

இந்தத் தொழில்நுட்பம் உயர்தர உலோக பாகங்களை உருவாக்க உதவுகிறது. ஏனெனில் இது சிக்கலான வடிவியல் கொண்ட உலோக பாகங்களை உருவாக்கும் திறன் கொண்டது. வானூர்தி, விண்வெளி (aerospace) மற்றும் வாகனங்கள் (automotive) தயாரிப்புத் தொழில்களில் பாகங்கள் மற்றும் தயாரிப்பில் உதவும் கருவிகள் (tooling) போன்ற சிக்கலான கட்டமைப்புகளை உருவாக்க இது பயன்படுத்தப்படுகிறது. உள்கூடான பாகங்களை உருவாக்க இயல்வதால் எடை குறையும். மேலும் புதிய கருவிகளை வடிவமைத்து, தயாரித்து சந்தைக்குத் துரிதமாகக் கொண்டு வர இயலும். ஆகவே இது உற்பத்தித் தொழிலுக்கு ஏற்றதாக அமைகிறது.


Focused Laser beam
Powder delivery nozzle
Converging powder streams
Sheath gas
Direction of travel
Melt zone
Substrate

உருக்கிப் பீச்சுதல்

படிவுத் துகளை உருக்கி இணைத்தல்

சிட்டங்கட்டல் (Sintering) முறையில் துகள்களை முழுவதும் திரவமாக உருக்காமல் நமக்குத் தேவையான வடிவத்தை உருவாக்கலாம் என்று பார்த்தோம். உலோகம் போன்ற துகள்களை படிவம் படிவமாக உருக்கி இணைப்பதன் (Powder bed fusion) மூலமும் உருக்கிப் பீச்சுதல் (Material Jetting) மூலமும் நமக்குத் தேவையான வடிவங்களை உருவாக்கலாம்.

உலோகங்களை இளக்குவதும், கையாளுவதும் மிகக் கடினமான வேலை

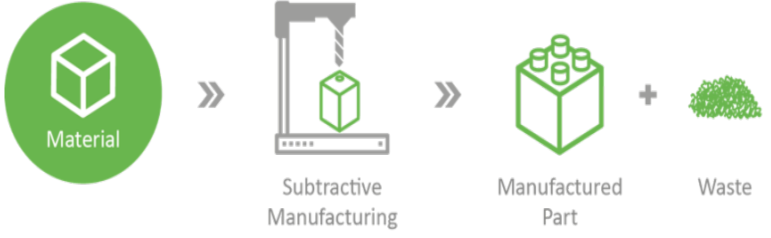
வெப்பத்தால் இளகும் நெகிழிகள் (thermoplastics) பெரும்பாலும் 110 முதல் 200 பாகை செல்சியசில் இளகத் தொடங்கும். சுமார் 150 முதல் 300 பாகை செல்சியசில் திரவமாகும். ஆனால் உலோகங்களோ 600 முதல் 2000 பாகை செல்சியசில்தான் திரவமாகும். ஆகவே நெகிழிகளுடன் ஒப்பிடும்போது உலோகங்களை இளக்குவதும், கையாளுவதும் அவ்வளவு எளிதான வேலையல்ல. எனினும் பல தயாரிப்புகளில் உலோகத்தின் வலுவும், விறைப்பும், வெப்பத்தைத் தாங்கும் திறனும் தேவைப்படுகின்றன.

மூலப்பொருளை உருக்கிப் பீச்சுதல் **(Material Jetting – MJ)** மற்றும் இணைக்கும் பசையைப் பீச்சுதல் **(Binder Jetting – BJ)**

நாம் காகிதத்தில் அச்சிடப் பயன்படுத்தும் மைவீச்சு (inkjet) அச்சுப்பொறி இரு பரிமாணங்களில் மட்டுமே அச்சிடவல்லது. அதாவது காகிதத்தின் நீளம் மற்றும் அகலவாக்கில் மையை வீசும். மை பயன்படுத்தாமல் அதற்குப் பதிலாக உருக்கிய உலோகத்தை வீசவல்ல அச்சுப்பொறியைக் கற்பனை செய்து பாருங்கள். இதுதவிர ஒரு அடுக்கு முடிந்த பின்னர் அடுத்த அடுக்குக்கு உயரவாக்கிலும் நகர்ந்து உருக்கிய உலோகத்தை வீசவல்லதுதான் உருக்கி இணைக்கும் முப்பரிமாண அச்சுப்பொறி. மூலப்பொருளை உருக்கிப் பீச்சுதல் (Material Jetting – MJ) இந்த வகையைச் சேர்ந்தது. உலங்கூர்தியில் பயன்படுத்தப்படும் தாங்கி (Helicopter bracket) போன்ற அதிக பளு தாங்கும் பாகங்களையும் இம்முறையில் உருவாக்குகிறார்கள். மூலப்பொருள் துகள்களை இணைக்கும் பசையைப் பீச்சுவது (Binder Jetting – BJ) இதில் சிறிதளவு மாற்றிய செயல்முறை.

வடிவமைப்புக்கான பகுதிகளை மட்டும் சீரொளியால் உருக்குதல் **(Selective Laser Melting – SLM)**

இது நாம் முன்னர் பார்த்த சீரொளி நேரடி உலோக சிட்டங்கட்டல் (Direct Metal Laser Sintering – DMLS) முறையை ஒத்ததுதான். ஆனால் இந்த முறையில் தேர்ந்தெடுத்த பகுதிகளை மட்டும் சீரொளியால் உருக்குகிறோம்.





பொருள்நீக்கு உற்பத்தியும் முப்பரிமாண அச்சிடலும்

பொருள்சேர் உற்பத்தியா, பொருள்நீக்கு உற்பத்தியா?

சிக்கலான உள் வடிவியல் கொண்ட பாகங்களுக்கு முப்பரிமாண அச்சிடல் இன்றியமையாதது

பொருளை அகற்றுவதற்குப் பதிலாக அடுக்குகளை உருவாக்குவதன் மூலம் பொருள்சேர் உற்பத்தி வேலை செய்கிறது. ஆகவே இத்தொழில்நுட்பம் சுழல் காற்றுக்குழல்கள் (spiral vents) மற்றும் உள்ளுக்குள் உள்ளான கூடுகள் (nested hollow cores) போன்ற சிக்கலான உள் வடிவியல் கொண்ட தயாரிப்புகளுக்கு மிகவும் பயனுள்ளதாக இருக்கிறது.

மேலும் பொருள் நீக்கு உற்பத்தி செயல்முறையில் சில சிக்கலான வடிவமைப்புகளுக்கு இரண்டு, மூன்று அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட சிறிய பாகங்களை உருவாக்கித் தொகுக்க வேண்டியிருக்கும். ஆனால் பொருள்சேர் உற்பத்தியில் இதை ஒரே பாகமாக உருவாக்கலாம். ஆகவே வேலை குறையும், செலவு குறையும், உற்பத்தியும் துரிதமாகும்.

முப்பரிமாண அச்சிடலில் விலையுயர்ந்த மூலப்பொருட்கள் சேதம் குறையும்

வெள்ளி, தங்கம், பிளாட்டினம் போன்ற

விலையுயர்ந்த மூலப்பொருட்கள் வைத்து வேலை செய்யும்போது 3D அச்சிடல் சேதத்தை மிகவும் குறைக்கிறது. அதுவும் சிக்கலான வடிவங்கள் மற்றும் உட்கூடான பாகங்கள் தயாரிப்பில் பொருள்நீக்கு உற்பத்தியில் சேதம் மிக அதிகமாகும்.

பேரளவு தயாரிப்பில் **(mass production)** பொருள்நீக்கு உற்பத்திதான் செலவைக் குறைக்கும்

ஓரிரண்டு பாகங்கள் மட்டுமே தயாரிக்க வேண்டுமென்றால் பொருள்சேர் உற்பத்தியில் மிகவும் துரிதமாகவும் குறைந்த செலவிலும் தயாரிக்கலாம். ஆனால் நூற்றுக் கணக்கான அல்லது ஆயிரக்கணக்கான பாகங்கள் தயாரிக்க வேண்டுமென்றால் CNC பயன்படுத்தி பொருள்நீக்கு உற்பத்தி செய்வதுதான் துரிதமாக நடக்கும் மற்றும் செலவையும் குறைக்கும்.

சீரான மேற்பரப்புக்கு **CNC** எந்திரங்கள் தோதானவை

மரம், உலோகம் மற்றும் நெகிழி உள்ளிட்ட எந்தப் பொருளையும் நீங்கள் CNC எந்திரங்களில் பயன்படுத்தலாம். மேலும் CNC எந்திர வெட்டு நுணுக்கமான வேலைப்பாடுகளுக்கும், துல்லியமான அளவீடுகளுக்கும், சீரான மேற்பரப்புக்கும் மிகவும் தோதானது.



அச்சிடும் விளிம்புகள் மற்றும் தாங்கும் பொருட்கள்

அச்சிடுகையில் தாங்கும் பொருட்கள்

உள்கூடான **(hollow)** பாகங்கள் உற்பத்திக்குத் தாங்கும் பொருட்கள் **(Support Substances)** இன்றியமையாதவை

சிலநேரங்களில் நாம் உள்கூடான பாகங்களை உற்பத்தி செய்ய வேண்டி வரலாம். உருவாக்கும் பாகம் நன்கு இறுகியபின் வலிமையாக இருக்கும். ஆனால் உருக்கிப் புனையும்போது கீழே தாங்கும் பொருட்கள் இல்லையென்றால் வளைந்து உருக்குலைந்து விடும் அல்லவா? இம்மாதிரி பாகங்களை அச்சிடுகையில் தாங்கும் பொருட்கள் அவசியம் தேவை.

3D அச்சிடும் விளிம்புகள் **(brims)**

3D அச்சிடும் விளிம்பு என்பது பாகத்தின் அடி விளிம்புகளிலிருந்து அச்சுப் படுக்கையில் விரிவடையும் பொருளின் ஒரு அடுக்கு ஆகும். இந்த அச்சிடும் விளிம்பு படுக்கையுடன் ஒட்டி நிலையாக இருக்கவும், வளைந்து கோணலாவதைத் தடுக்கவும் உதவுகிறது. இதை அகற்றுவது எளிது, குறைவான பொருள் வீணாகும் மற்றும் அச்சின் கீழ் அடுக்கு வடிவத்தை பாதிக்காது.

சிக்கலான வடிவவியலுக்கும் **(complex geometries)** தாங்கும் பொருட்கள் தேவைப்படலாம்

சில பாகங்களில் தொங்கும் பகுதிகள் (overhangs) இருக்கலாம். சூடு ஆறியபின் இப்பகுதிகள் இறுகி விறைப்பாகிவிடும். ஆனால் உருக்கிப் புனைந்தவுடன் தாங்கும் பொருட்கள் இல்லாவிட்டால் இவை வளைந்து வீணாகிவிடும். இதுபோன்ற மற்ற சில சிக்கலான வடிவங்களுக்கும் தாங்கும் பொருட்கள் தேவைப்படலாம்.

தாங்கும் பொருள் வகைகள்

ஒரு குறிப்பிட்ட வேதிப்பொருள் தொட்டியில் வைத்தால் கரையும் தாங்கும் பொருட்களை சில 3D தொழில்நுட்பங்கள் பயன்படுத்துகின்றன. மற்ற சில தொழில்நுட்பங்கள் சுற்றியுள்ள துகள்களையே தாங்கும் பொருட்களாகப் பயன்படுத்துகின்றன. களி (gel) போன்ற பொருட்களைப் பயன்படுத்தும் தொழில்நுட்பங்களும் உள்ளன.



அச்சடித்த பின் தூய்மை செய்தல்

அச்சடித்த பின் வரும் வேலைகள் (Post-processing)

தாங்கும் பொருட்களை நீக்குதல் **(Support Removal)** மற்றும் பிசினை சுத்தம் செய்தல்

இழையை உருக்கிப் புனைதல் (FDM) முறையில் அச்சு எந்திரத்தின் அடித்தட்டிலிருந்து எடுத்து ஆறியபின் முதலில் பாகங்களின் தாங்கும் பொருட்களை அகற்றவேண்டும். ஒளித் திண்மமாக்கல் (stereo lithography) முறையில் ஒளி பட்டால் திண்மமாகும் நெகிழி (photopolymers) திரவங்களைப் பயன்படுத்துவோம் என்று பார்த்தோம். ஆகவே இம்முறையில் உருவாக்கிய பாகங்களில் தாங்கும் பொருட்களை அகற்றும் முன்னர் தேவையற்று ஒட்டியிருக்கும் திரவப் பிசினை முதலில் சுத்தம் செய்ய வேண்டும்.

தூய்மை செய்தல் **(Cleaning)**

பசையைப் பீச்சுதல் (Binder Jetting) மற்றும் சீரொளி சிட்டங்கட்டல் போன்ற துகள் வடிவில் உள்ள பொருட்களைப் பயன்படுத்தும் தொழில்நுட்பங்களில் முதலில் மேலே ஒட்டியுள்ள துகள்களை அகற்ற வேண்டும். இதன் பின்னர் மேற்பரப்பு சீர்மை செய்யலாம்.

உலோக பாகங்களில் அச்சடித்த பின் வரும் வேலைகள்

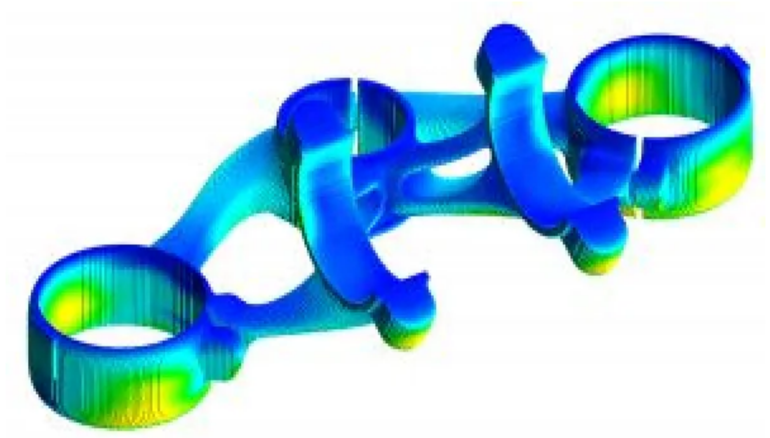
உலோக பாகங்களை 3D அச்சிட்டபின் கணிசமாக அதிக வேலைகள் செய்ய வேண்டும். அச்சிட்ட உலோக பாகங்களை கீழிறக்கியபின் முதலில் அவற்றின் மேலுள்ள துகள்களை அகற்ற வேண்டும். அடுத்து அச்சு எந்திரத்தின் அடித்தகட்டிலிருந்து அந்த பாகத்தை வெட்டி எடுக்க வேண்டும்.

முடிவில் தேவைக்கேற்ப மேற்பரப்பு சீர்மை செய்தல் **(Finishing)**

வடிவியல் துல்லியம் மற்றும் பார்வையை மேம்படுத்துவதற்காக 3D அச்சிடப்பட்ட பாகங்கள் மேற்பரப்பு நகாசு வேலைக்கு உட்படுத்தப்படலாம். இத்தகைய இரண்டாம் நிலை செயலாக்கப் படிகளில் நெகிழி பாகங்களுக்கு மணல் அடித்து பிசிர் நீக்கல் (sanding), நிரப்புதல், வண்ணம் பூசுவது மற்றும் உலோக பாகங்களுக்கான எந்திர வெட்டு ஆகியவை அடங்கும்.

அச்சடித்த பின் வரும் வேலைகளைப் பெரும்பாலும் கைமுறையாகச் செய்யவேண்டியிருக்கிறது

அச்சடித்த பின் வரும் செயல்பாடுகளில் பெரும்பாலானவை இன்னும் கைமுறை செயல்களாகும். ஏனெனில் இவற்றைத் தானியங்கியாகச் செய்வது கடினம். திறமையான பணியாளர்கள்தான் இவற்றில் முக்கிய பணிகளைச் செய்ய வேண்டும். ஆகவே, இம்மாதிரி தயாரிப்பிற்குப் பிந்தைய கட்டத்தை நிர்வகிக்கக் கைமுறைகளைப் பயன்படுத்துவது தயாரிக்க எடுக்கும் நேரங்களையும் உற்பத்திச் செலவுகளையும் கணிசமாக அதிகரிக்கும்.



அமெரிக்க ஆன்சிஸ் **(ANSYS)** நிறுவனத்தின் பாவனையாக்கல் மென்பொருள்

புனைதல் செயல்முறையின் பாவனையாக்கல் (Simulation)

நாம் முதல் முறையாக ஒரு பாகத்தை 3D அச்சு புனைதல் செய்யும் போது வரும் பிரச்சினைகளுக்குத் தகுந்தவாறு வடிவமைப்பையோ அல்லது செயல்முறையையோ மாற்றியமைத்துத் திரும்பவும் புனைவோம். ஆனால் திரும்பத்திரும்ப முயற்சி செய்து பார்த்துப் பிழையை சரி செய்வதில் (trial and error) செலவும் அதிகம் மற்றும் நேரமும் வீணாகும். இம்மாதிரி புனைதல் செய்து செய்து பார்த்துக்கொண்டிராமல் பிரச்சினைகளுக்குத் தீர்வு காண வேறு எளிய வழி இருக்கிறதா என்றால் அதுதான் பாவனையாக்கல்.

வெப்பவிசையியல் விளைவால் **(thermo-mechanical effect)** உருக்குலைவு

எடுத்துக்காட்டாக பற்ற வைத்த (welded) உலோக பாகங்கள் சூடு ஆறும்போது வெப்பவிசையியல் விளைவால் வளையக்கூடும் என்பது தெரிந்ததே. 3D அச்சிடல் செயல்முறையில் துகள்களையோ அல்லது இழைகளையோ உருகும் வெப்பநிலைக்கு சூடாக்கி, அச்சிட்டு குளிர்ந்தவுடன் திடப்படுத்தி, பாகத்தை

உருவாக்குகிறோம் என்று பார்த்தோம். ஆகவே பாகங்களை அச்சிடும்போதும் இதே மாதிரி உருக்குலைவு (deformation) பிரச்சினை வரக்கூடும்.

வழக்கமாக ஒரு மாதிரி பாகத்தை அச்சிட்டபின்தான் எவ்வளவு உருக்குலைவு எந்த இடத்தில் வருகிறது என்பது தெரியவரும். அதன்பின் வடிவமைப்பில் மாறுதல்கள் செய்து திரும்பவும் மாதிரி பாகத்தை அச்சிட்டுப் பார்க்கவேண்டும். குறைபாடுள்ள அச்சுகளை நிராகரித்து வடிவமைப்பை மாற்றியமைக்கும்போது பொருளும் வீணாகும் மற்றும் உற்பத்தி நேரமும் விரயமாகும்.

செயல்முறையைப் புரிந்துகொள்ளவும் காட்சிப்படுத்தவும் பாவனையாக்கல் மென்பொருள் உதவுகின்றது

இதற்கு மாறாக உற்பத்தியின் போது நிகழும் சிக்கலான வெப்பவிசையியல் நிகழ்வுகளைப் (thermo-mechanical phenomena) புரிந்துகொள்ளவும் காட்சிப்படுத்தவும் 3D அச்சிடல் பாவனையாக்கல் உதவுகின்றது. இந்த மென்பொருளைப் பயன்படுத்தி வடிவமைப்பை மாற்றி மாதிரி பாகங்களை அச்சிடும் வேலைகளைக் குறைத்து உயர்தர துல்லிய பாகங்கள் உற்பத்தி செய்ய இயலும். குறிப்பாக விலையுயர்ந்த பாகங்களுக்கு இது மிகவும் முக்கியமானது. இந்த மென்பொருளானது ஒரு பாகத்தின் புனைவைக் காட்சிப்படுத்த உதவுகிறது, எஞ்சிய அழுத்தத்தால் (residual stress) பாதிக்கப்படக்கூடிய ஒரு பாகத்தின் சாத்தியமான சிதைவுகள் பற்றிய உள்ளறிவுகளை வழங்குகிறது. தானாகவே உகந்த தாங்கும் பொருள் கட்டமைப்புகளை உருவாக்கவும் மற்றும் உருக்குலைவு (deformation) ஈடு செய்த STL கோப்புகளை உருவாக்கவும் இம்மாதிரி மென்பொருட்களைப் பயன்படுத்தலாம்.

வெப்பநிலை பரவல் **(Temperature distribution)**

பொருள்சேர் உற்பத்தி மூலம் ஒரு பாகத்தை உருவாக்கும்போது நிகழும் அனைத்து இயந்திர நிகழ்வுகளுக்கும் வெப்பநிலையின் வாட்டம்தான் (temperature gradient) மூல காரணமாகும். ஆகவே, சில நேரங்களில் இயந்திர சிதைவு (mechanical deformation) அல்லாமல் வெப்பநிலை வாட்டத்தை மட்டும் தனியாகக் கணக்கிடலாம். இது பொதுவாக முழு பாவனையாக்கலை விட விரைவானது. மேலும் வெப்பத் திரட்சி சிக்கல்களுக்குத் தீர்வு கண்டால் அதே நேரத்தில் இயந்திர சிதைவு சிக்கல்களையும் தீர்க்கும்.



முப்பரிமாண வருடி

பாகத்தை வருடி வரைபடம் தயாரித்தல்

பாகத்தின் வரைபடம் இருந்தால் பொருள் சேர் உற்பத்தி மூலம் நம்மால் அந்த பாகத்தைத் தயாரிக்க முடியும். ஆனால் நம்மிடம் பாகத்தின் வரைபடம் இல்லை, அதற்கு பதிலாக தேய்ந்த அல்லது உடைந்த பாகம் மட்டுமே உள்ளது என்று வைத்துக் கொள்வோம். என்ன செய்வது? இம்மாதிரி தருணங்களில் பாகத்தை வருடி வரைபடம் தயாரித்தல் நமக்குக் கை கொடுக்கும்.

மீள்நோக்குப் பொறியியல் **(Reverse engineering)**

வழக்கமாக முதலில் வரைபடம் வரைந்து அதன் பின்னர் அந்தப் படத்தில் உள்ளபடி பாகம் உருவாக்குவோம். இதை முன்நோக்குப் பொறியியல் (Forward engineering) என்று சொல்கிறோம். ஆனால் சில நேரங்களில் பாகத்திலிருந்து வரைபடம் தயாரிக்க வேண்டிவருகிறது. எடுத்துக்காட்டாக நம்மிடமுள்ள ஒரு எந்திரத்தில் ஒரு பாகம் தேய்ந்து அல்லது உடைந்து வீணாகி விடுகிறதென்று வைத்துக் கொள்வோம். அதேபோல வேறொரு பாகம் செய்து போட்டு ஓட்டவேண்டும். பாகத்தின் வரைபடம் அந்த எந்திரத்தின் தயாரிப்பாளரிடம் இருக்கும். அந்த எந்திரத்தை வாங்கிப் பயன்படுத்தும் நம்மிடம் இருக்காது. இம்மாதிரி நேரங்களில் பாகத்திலிருந்து திரும்பவும் வரைபடம் தயாரிப்பதை மீள்நோக்குப்

பொறியியல் என்று சொல்கிறோம்.

முப்பரிமாண வருடி **(3D Scanner)**

பாகத்திலிருந்து வரைபடம் தயாரிக்க நமக்கு ஒரு வருடி (scanner) தேவை. அதுவும் முப்பரிமாண வருடியாக இருக்க வேண்டும். முப்பரிமாண வருடிகள் சிக்கலான பொருட்களை மிக விரைவாக அளவிடுகின்றன. இதன் மூலம் பாகத்திலிருந்து வரைபடம் தயாரித்து தேவைக்கு ஏற்ற மாதிரி, நம்மிடமுள்ள அனைத்து வகையான தயாரிப்புகளிலும் சரியாகப் பொருந்தக்கூடிய 3D அச்சிட்ட பாகங்களை நாம் வடிவமைக்கலாம்.

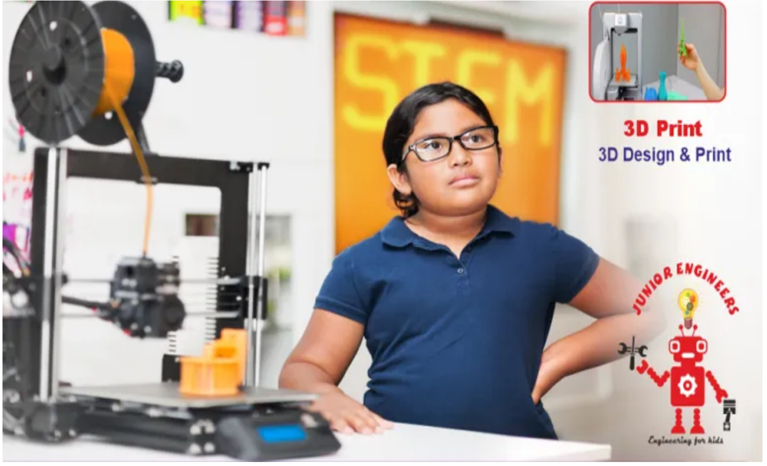
வடிமைக்க வேண்டிய பொருட்களின் மீது முப்பரிமாண வருடிகள் சீரொளியை (laser) செலுத்துகின்றன. அதன் உணரி (sensor) எதிரொளித்த சீரொளிக் கதிரைப் பகுப்பாய்வு செய்கிறது. இதன் மூலம் பாகத்தின் வடிவத்தையும் அளவையும் தீர்மானிக்கிறது. முப்பரிமாண வருடிகளைத் தேர்ந்தெடுக்கும்போது அவற்றின் துல்லியம் (Accuracy), பகுதிறன் (Resolution) மற்றும் வருடும் வேகம் (Scanning Rate) போன்றவை முக்கிய காரணிகள்.

கையடக்க முப்பரிமாண வருடிகள் **(Hand-held scanners)**

முப்பரிமாண வருடிகளுக்கு அதிகபட்சம் பரப்பளவு வரையறை உண்டு. அதைவிடப் பெரிய அளவிலான பொருட்களை வருடவேண்டுமானால் கையடக்க முப்பரிமாண வருடிகளைப் பயன்படுத்தவேண்டும்.

3D வருடிகள் சிக்கலான பொருட்களைக்கூட மிக விரைவாக அளவிடக்கூடியவை. ஆகவே உங்கள் வடிவமைப்புப் பணிப்பாய்வுகளை பெரிதும் துரிதப்படுத்தலாம். இயற்பியல் வடிவங்களைப்

படம்பிடித்து தேவைக்குத் தகுந்தாற்போல் மாற்றியமைக்கும் திறனுடன், தற்போதுள்ள அனைத்து வகையான தயாரிப்புகளிலும் சரியாகப் பொருந்தக்கூடிய 3D அச்சிட்ட பாகங்களை நாம் வடிவமைக்கலாம்.



சிறுவர்களுக்கு **3D** அச்சிடல் பயிற்சி

கல்வி மற்றும் பயிற்சியில் 3D அச்சிடல்

இனிவரும் கட்டுரைகளில் முப்பரிமாண அச்சிடல் எம்மாதிரி வேலைகளுக்குப் பயன்படுகிறது என்பது பற்றி விவரமாகப் பார்ப்போம்.

பல பள்ளிகள் தங்கள் பாடத்திட்டங்களில் 3D அச்சு முறைகளை இணைத்து வருகின்றன. கல்விக்கான 3D அச்சின் மிகப்பெரிய நன்மை என்னவென்றால், விலையுயர்ந்த கருவிகள் தேவையில்லாமல் மாணவர்கள் முன்மாதிரிகளை உருவாக்க முடியும். இதன் மூலம் மாணவர்களை அவர்களின் எதிர்காலத்திற்கு சிறப்பாகத் தயார்படுத்த உதவுகிறது. சித்திரமும் கைப்பழக்கம் என்பது பழமொழி. ஆகவே மாணவர்கள் கைமுறையாக மாதிரிகளை வடிவமைத்துத் தயாரிப்பதன் மூலம் 3D வடிவியல் பற்றியும் 3D அச்சின் பயன்பாடுகளைப் பற்றியும் நுணுக்கமாக அறிந்து கொள்ள முடியும். இம்மாதிரி கைமுறைப் பயிற்சி வெறும் ஏட்டுச் சுரைக்காயாக இல்லாமல் படித்து மட்டுமே தெரிந்து கொள்வதைவிட நல்ல புரிதல் கிடைக்கும்.

நடைமுறையில் உருவாக்குதல் வெறும் கணினித் திரையில் பார்ப்பதைவிடப் பலமடங்கு பயனுள்ளது

வெறும் காகிதம் அல்லது கணினித் திரையில் படைப்புத்திறன் எண்ணங்களை வடிவமைப்பது

ஓரளவுக்கு மட்டுமே கற்பதற்கு உதவும். அம்மாதிரி வடிவமைத்த பாகத்தையோ அல்லது தயாரிப்பையோ நடைமுறையில் உருவாக்கும் பாலமாக முப்பரிமாண அச்சிடல் வழி செய்கிறது.

முப்பரிமாண அச்சு எந்திரங்கள் இப்போது சில பள்ளிகள் மற்றும் காட்சியகங்களில் காணப்படுகின்றன. மாணவர்கள் வகுப்புகளில் மற்றும் திட்டங்களில் பயன்படுத்த பல்கலைக்கழகங்களில் 3D அச்சு எந்திரங்கள் உள்ளன. கல்வியாளர்களுக்கும் மற்றும் மாணவர்களுக்கும் பல நிறுவனங்கள் 3D அச்சிடல் பயன்பாடுகளில் பயிற்சியளித்து சான்றிதழ் வழங்குகின்றன.

3D அச்சு கருவிகள் STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) கல்வியில் புரட்சியை ஏற்படுத்துகின்றன. வகுப்பறையில் மாணவர்களால் குறைந்த செலவில் விரைவான முன்மாதிரிகளை உருவாக்கும் திறனை வழங்குவதோடு, திறந்த வன்பொருள் வடிவமைப்புகளிலிருந்து குறைந்த விலை உயர்தர அறிவியல் உபகரணங்களை உருவாக்குகின்றன.

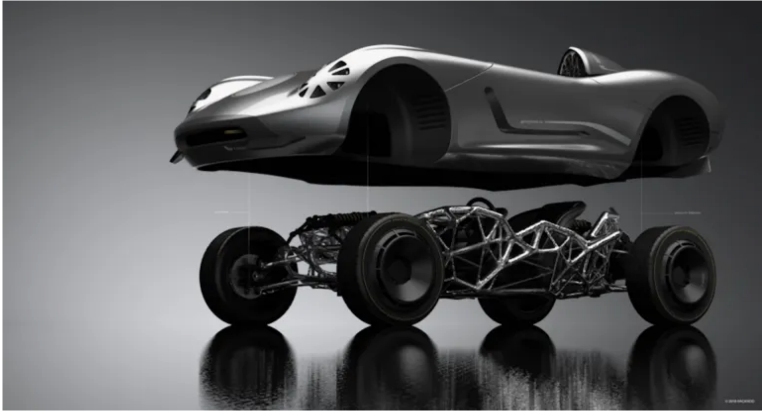
வடிவமைப்பு, பொறியியல் மற்றும் கட்டடக்கலை கோட்பாடுகளை நன்கு அறிந்துகொள்ள முடியும்

வடிவமைப்பு, பொறியியல் மற்றும் கட்டடக்கலை கோட்பாடுகளை தேடலாய்வு செய்வதன் (exploring) மூலம் மாணவர்கள் பல்வேறு 3D அச்சு பயன்பாடுகளைப் பற்றி அறிந்து கொள்கின்றனர். நுண்ணிய சேகரிப்புகளை சேதப்படுத்தாமல் வகுப்பறையில் படிப்பதற்கு படிமங்கள் (fossils) மற்றும் வரலாற்று கலைப்பொருட்கள் போன்ற அருங்காட்சியகப் பொருட்களை நகல் எடுக்க முடிகிறது. அவர்கள் நில அமைப்பு வரைபடங்களில் (topographic maps) ஒரு புதிய, முப்பரிமாண

கண்ணோட்டத்தைப் பெற முடியும்.

3D மாதிரிகள் பல்வேறு துறைகளுக்கு உதவுகின்றன

வரைபட வடிவமைப்பு (Graphic design) மாணவர்கள் சிக்கலான வேலை செய்யும் பாகங்கள் கொண்ட மாதிரிகளை எளிதாக உருவாக்க முடியும். அறிவியலில் உள்ள மாணவர்கள் மனித உடலில் உள்ள உறுப்புகளின் குறுக்குவெட்டு மற்றும் பிற உயிரியல் மாதிரிகளை உருவாக்கி படிக்கலாம். வேதியியல் மாணவர்கள் மூலக்கூறுகள் மற்றும் இரசாயன கலவைகளின் 3D மாதிரிகளை உருவாக்க முடியும்.


3D அச்சிட்ட கார் மாதிரி

துரித முன்மாதிரி மற்றும் பெருந்திரள் தனிப்பயனாக்குதல்

3D அச்சிடுதல் முதன்முதலில் துரித முன்மாதிரிக்கான **(prototyping)** வழிமுறையாகத்தான் உருவாக்கப்பட்டது

பாரம்பரிய உட்செலுத்து அச்சு (injection moulding) மூலம் வடிவமைக்கப்பட்ட முன்மாதிரியைத் தயாரிக்க, பல லட்சங்கள் செலவாகும் மற்றும் பல வாரங்கள் எடுக்கும். ஒவ்வொரு புதிய மறு செய்கையிலும் வடிவமைப்பை மேம்படுத்த முயற்சிக்கிறீர்கள் என்றால் அது ஒருக்காலும் நடைமுறைக்கு ஒத்தே வராது. 3D அச்சிடுதல் தொழில்நுட்பம் பாரம்பரிய உற்பத்தியில் தேவைப்படும் முன்னீடு (lead times) நேரங்களை வெகுவாகக் குறைக்கிறது. ஒரு முன்மாதிரிக்குப் பல வாரங்கள் எடுக்காமல் சில மணிநேரங்களிலேயே குறைந்த செலவில் உருவாக்க வழி செய்கிறது. முக்கியமாக வாகன மற்றும் விண்வெளித் தொழில்கள் உற்பத்தியில் இம்மாதிரி 3D அச்சு தொழில்நுட்பத்தின் முன்னேற்றத்தைப் பரவலாகப் பயன்படுத்துகின்றன.

பேரளவு உற்பத்தியில் பாரம்பரிய முறையே செலவைக் குறைக்கும்

பாரம்பரிய உற்பத்தி முறையே பேரளவு உற்பத்தியில் (mass production) மிகவும் செலவு குறைந்ததாகும். ஒரே மாதிரியான தயாரிப்பு பெருமளவில் உற்பத்தி செய்யப்படாத சூழ்நிலைகளில், 3D அச்சு முறை சிறந்தது. ஏனெனில் இது ஒரு தயாரிப்பை குறைந்த எண்ணிக்கைகளில் மற்றும் தனித்தனியாக உற்பத்தி செய்ய அனுமதிக்கிறது.

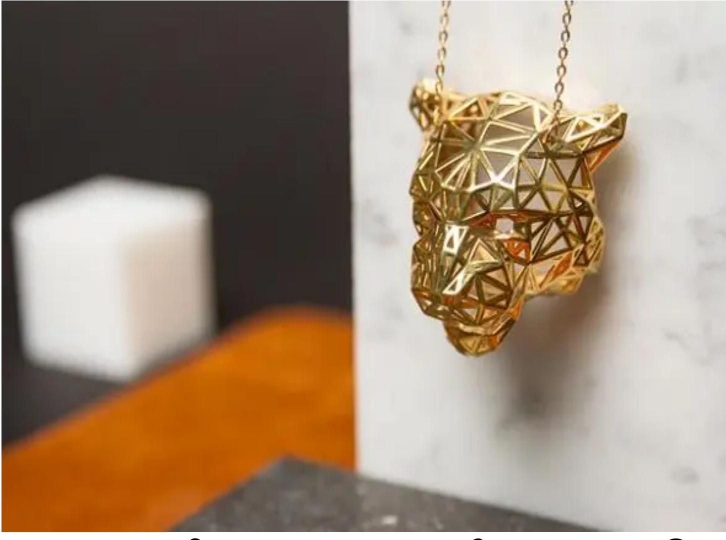
மேகக் கணிமைத் தொழில்நுட்பங்கள் இன்று மிகவும் பரவலாக இருப்பதால், நுகர்வோருக்கு 3D அச்சு எந்திரம் வாங்கும் செலவு கிடையாது. பாகங்கள் மற்றும் தயாரிப்புகளை தொலைவிலிருந்து உருவாக்கக்கூடிய மேகக் கணிமை அடிப்படையிலான பொருள் உற்பத்தி சேவைகளை வழங்கும் நிறுவனங்கள் இப்போது உள்ளன.

பெருந்திரள் தனிப்பயனாக்குதல் **(mass customization)** போன்ற சேவைகளுக்கு **3D** அச்சிடல் அவசியம்

நிறுவனங்கள் இப்போது பெருந்திரள் தனிப்பயனாக்குதல் சேவைகளை வழங்குகின்றன. இவற்றில் நுகர்வோர் எளிய இணைய அடிப்படையிலான தனிப்பயனாக்குதல் மென்பொருளின் மூலம் பொருட்களைத் தங்களுக்குப் பிடித்த மாதிரி வடிவமைத்துக் கொள்ளலாம். இதன் விளைவாக கைப்பேசியின் வெளியுறைகள் (mobile phone cases) போன்ற தனித்துவமான 3D அச்சிடப்பட்ட பொருட்களை இணையத்தில் வாங்கலாம்.

தனிப்பயனாக்கத்தின் அடிப்படைக் கொள்கை என்னவென்றால் வாடிக்கையாளர்களுக்கு உருவாக்கும் செயல்பாட்டில் பங்கேற்கும் திறனை வழங்குவதும், இந்த உள்ளீட்டை பேரளவு உற்பத்தி

அளவில் ஒருங்கிணைப்பதும் ஆகும். இந்த அணுகுமுறையைத் தேர்ந்தெடுப்பது சில சவால்களை எதிர்கொள்கிறது. ஏனெனில் இது மிகவும் திறமையான மற்றும் மெலிந்த விநியோகச் சங்கிலி (supply chain) அமைப்பையும், அத்துடன் நெகிழ்வான, தானியங்கி உற்பத்தி செயல்முறையையும் நம்பியுள்ளது.



3D அச்சிட்ட தனித்துவமான வேலைப்பாடுள்ள நகைகள்

கலைப்பொருட்கள் மற்றும் ஆபரண உற்பத்தி

மெழுகு வார்ப்பு **(lost wax process)**

கைவினை (handcrafting) மற்றும் மெழுகு வார்ப்பு ஆகிய இரண்டு தொழில்நுட்பங்கள் வரலாற்று ரீதியாக ஆபரணங்களை உருவாக்குவதற்குப் பெரும்பாலும் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளன.

ஒரு பூ வடிவில் ஆபரணம் செய்யவேண்டுமென்று வைத்துக்கொள்வோம். மெழுகு வார்ப்பு முறையில் முதலில் அதே வடிவில் மெழுகில் பூ தயாரித்துக் கொள்வோம். பிறகு அந்த மெழுகுப் பூவை உள்ளே வைத்து அச்சு தயாரிப்போம். அதன்பின் மெழுகை உருக்கிவிட்டு அந்த அச்சுக்குள் தங்கம் அல்லது வெள்ளியை உருக்கி ஊத்துவோம். அது இருகியபின் வெளியே எடுத்தால் அந்தப் பூ வடிவத்தில் ஆபரணம் தயார்.

இரண்டு நுட்பங்களுக்கும் குறிப்பிடத்தக்க தொழில்நுட்ப நிபுணத்துவமும் கைவினைத்திறனும் (craftsmanship) தேவைப்படுகிறது. ஆகவே இவற்றுக்கு அதிக நேரம் எடுக்கிறது, மேலும் செயல்பாட்டில் தவறுகள் நேர்ந்தால் செலவும் அதிகம்.

தனித்துவமான நகைகள் மற்றும் ஆபரணங்கள் உற்பத்தி செய்ய இயலும்

3D அச்சு நகைகளைப் பற்றிப் பேசும் பெரும்பாலான நேரங்களில், பாரம்பரிய நகைத் தயாரிப்பைப் போலவே மெழுகு மாதிரியை 3D அச்சிடுதலைப் பற்றிக் குறிப்பிடுகிறோம். விலைமதிப்பற்ற உலோகங்களில் நேரடியாக 3D அச்சிடுவது சாத்தியம் என்றாலும், பெரும்பாலான நகைக்கடைக்காரர்கள் 3D அச்சுப்பொறிகளைப் பயன்படுத்தி ஒரு பொத்தானை அழுத்துவதன் மூலம் நடைமுறையில் தங்கள் எண்ணிம வடிவமைப்புகளிலிருந்து (digital designs) மெழுகு மாதிரிகளை உருவாக்குகிறார்கள். பல மணிநேரங்கள் அல்லது பல நாட்கள் எடுக்கும் கை வேலைப்பாடு மற்றும் தேவையான திறன் ஆகியவற்றைக் குறைத்துத் துரிதமாகவும் குறைந்த செலவிலும் ஆபரணங்கள் உற்பத்தி செய்ய இயலும்.

3D அச்சிடல் தனித்துவமான மற்றும் தரமான நகைகளைத் தயாரிப்பதற்கு எவருக்கும் உதவுகிறது. மேலும் இத்தொழில்முறை நகைக்கடைக்காரர்களுக்கு உற்பத்திக்கான புதிய தீர்வை வழங்குகிறது. இது மலிவானது, எளிதானது மற்றும் விரைவானது. 3D அச்சிடல் நகைச் சந்தையை மாற்றி, அணுகக்கூடிய தனிப்பயன் உற்பத்தியை வழங்கும் புதிய தொழில்நுட்பத்தில் திறனுள்ள நகை நிறுவனங்களுக்கு ஊக்கமளிக்கிறது.

வெள்ளி, தங்கம் அல்லது பிளாட்டினம் போன்ற 3D அச்சுப் பொருட்களைப் பயன்படுத்தி, தனிப்பட்ட, தனித்துவமான நகைகள் அல்லது தனிப்பயனாக்கப்பட்ட ஆபரணங்களை மிகக் குறைந்த விலையில் தயாரிக்கவும் 3D அச்சு அனுமதிக்கிறது. 3D அச்சுப்பொறிகள் நகை தயாரிப்பாளர்களை பாரம்பரிய நகை செய்யும் முறைகள் மூலம் சாத்தியமற்ற வடிவமைப்புகளைக்கூட முயன்று பார்க்க வழிசெய்கின்றன.

3D அச்சிட்ட சிற்பங்கள் மற்றும் பூச்சாடிகள்

3D அச்சிடல் தொழில்நுட்பம் உலகம் முழுவதிலும் உள்ள கலைஞர்களை ஊக்குவிக்க உதவுகிறது. உலோக 3D அச்சிடல் மூலம், கலைஞர்கள் இப்போது அழகான சிக்கலான சிற்பங்களை உருவாக்குகிறார்கள். டச்சு கலைஞரான ஆலிவர் வான் ஹெர்ப்ட் (Oliver van Herpt) 3D அச்சு மூலம் பூச்சாடிகளை உருவாக்குகிறார்.

சமீபத்தில், ஸ்பெயின் நாட்டில் மாட்ரிட் நகரிலுள்ள பிராடோ அருங்காட்சியகம் 3D யில் வரையப்பட்ட பிரபலமான கலைஞர்களின் ஓவியங்களின் கண்காட்சியை ஏற்பாடு செய்தது. முன்பு அணுக முடியாத இப்படைப்புகளை பார்வையற்றவர்கள் உணர அனுமதிப்பதே இதன் நோக்கம்.



மோட்டார் சைக்கிள் உற்பத்தியில் **3D** அச்சிட்ட தனிப்பயன் வழியுறுதிகளைப் பொறியாளர்கள் பயன்படுத்துகின்றனர்

வாகனத் தொழில்துறைப் பயன்பாடுகள்

வாகனத் துறை முப்பரிமாண அச்சிடலின் திறனைப் பல பத்தாண்டுகளாகப் பயன்படுத்துகிறது. முப்பரிமாண அச்சிடல் விரைவான முன்மாதிரிக்கு மிகவும் பயனுள்ளதாக இருக்கிறது. மற்றும் புதிய வாகன மாதிரிகளில் வடிவமைப்பு நேரத்தையும் முன்னீடு நேரத்தையும் (lead time) கணிசமாகக் குறைக்கும் திறனை நிரூபித்துள்ளது.

வாகன பாகங்களுக்குப் பல தனிப்பயன் வழியுறுதிகள் **(jigs)** மற்றும் நிலைப்பொருத்திகள் **(fixtures)** தேவை

தொழில்துறையில் உற்பத்திப் பணிப்பாய்வுகளை (workflow) 3D அச்சிடல் திறன்படுத்தியுள்ளது. முன் காலத்தில் வாகன பாகங்கள் தயாரிக்க தனிப்பயன் வழியுறுதிகள், நிலைப்பொருத்திகள் மற்றும் பிற கருவிகள் தேவைப்பட்டன. குறிப்பாக உயர்-செயல்திறன் கொண்ட இயந்திரங்களைப் பொறுத்தவரை, வரிசையாகப் பல தனிப்பயன் கருவிகள் தேவைப்பட்டன. இவை செலவைக் கூட்டி, செயல்முறையை ஒட்டுமொத்தமாக மேலும் சிக்கலாக்கும்.

எண்ணிம பணிப்பாய்வுகளின் தரம் தொடர்ந்து அதிகரித்து வருகிறது

எண்ணிம பணிப்பாய்வுகளின் தரம் தொடர்ந்து அதிகரித்து வருவதால், பொருட்கள் மேம்பட்டு, மேலும் மலிவு விலையில் செயல்படுவதால், கார்களில் மேலும் மேலும் 3D அச்சிட்ட பாகங்களைக் காண்போம். வடிவமைப்பு தனிப்பயனாக்கலுக்கான (customization) செயற்பரப்பு அதிகரித்து, அதன் விளைவாக சிறந்த செயல்திறன் கிடைக்கும்.

பேரளவில் விருப்பமைவு செய்தல் **(Mass customization)**

ஹென்ரி போர்டு (Henry Ford) உருவாக்கிய தொகுப்புவரிசை (assembly line) உற்பத்திமுறையில் ஒரே ஒரு மாதிரி கார், கருப்பு வண்ணத்தில் மட்டுமே தயார் செய்தார். ஆனால் இக்காலத்தில் வாடிக்கையாளர்களுக்கு ஒவ்வொரு காரிலும் பல மாதிரிகளும் (models), ஒவ்வொரு மாதிரியிலும் பல வண்ணங்களும், அவற்றில் பல மாற்றங்களும் (variants) தேவைப்படுகின்றன. பேரளவு உற்பத்தியும் (mass production) செய்யவேண்டும், அதில் விருப்பமைவும் (customization) செய்ய வழியிருக்கவேண்டும் என்றால் 3D அச்சிடல் அவசியம் தேவைப்படுகிறது.

தயாரிப்பு மேம்பாட்டை விரைவுபடுத்துவது நிறுவனங்களின் முதன்மையான கவனமாக உள்ளது. ஆகவே இது 3D அச்சிடல் உத்திகளுக்கு வழிவகுக்கிறது. பெருமளவிலான தனிப்பயனாக்கம் மற்றும் கொள்முதல் ஆணைக்கு ஏற்றபடி மாற்றியமைத்தல் (configure-to-order) மற்றும் கொள்முதல் ஆணைக்கு ஏற்றபடி உருவாக்குதல் (engineer-to-order) உத்திகளுக்கான ஆதரவு ஆகியவை சந்தையில் முக்கியமாக ஆகி வருகின்றன. இவற்றுக்காக உற்பத்தியில் நெகிழ்வுத்தன்மையை அதிகரிப்பது, இன்று பொருள்சேர் உற்பத்தி உத்திகளுக்கு உந்துதல் அளிக்கிறது.



செயற்கை உறுப்புகளை **3D** அச்சிடல்

மருத்துவத் துறைப் பயன்பாடுகள்

கடந்த பல ஆண்டுகளில் மருத்துவ உலகில், செயற்கை உறுப்புகள் போன்ற மருத்துவ சாதனங்கள் முதல் உயிரி அச்சிடுதல் (bioprinting) வரை, பல 3D அச்சு பயன்பாடுகள் வந்துள்ளன.

எலும்பு மூட்டு சாதனங்களும் **(orthosis)** செயற்கை உறுப்புகளும் **(prosthesis)**

எலும்பு மூட்டு சிம்புகள் (splints) மற்றும் பல் இறுக்கிகள் (braces) போன்ற செயற்கை சாதனங்களைப் பயன்படுத்துபவர்களுக்குத் தகுந்தாற்போலத் தனிப்பயனாக்க வேண்டும். இது போலவே விபத்து அல்லது நோய் காரணமாக வெட்டப்பட்ட கை கால்கள் அல்லது வளர்ச்சியின்மை காரணமாக இல்லாத கை கால்களுக்குப் பதிலாக செயற்கை கை கால்கள் பொருத்த வேண்டுமென்றாலும் பயன்படுத்துபவர்களுக்குத் தகுந்தாற்போலத் தனிப்பயனாக்க வேண்டும்.

இம்மாதிரி ஒவ்வொரு பாகத்தையும் வெவ்வேறு அளவு அல்லது வெவ்வேறு மாதிரியாகத் தயாரிக்கும் வேலைகளுக்கு 3D அச்சுமுறை மிகவும் தோதானது. ஏனெனில் நாம் வடிவமைப்பைக் கணினியில் தயாரிப்பதால் ஒவ்வொரு பயனுக்கும் தோதாக வடிவமைப்பை எளிதாக மாற்றியமைக்கலாம்.

இதற்கு முன் நோயாளிக்கு ஏற்ற செயற்கை கை கால்களைத் தயாரிப்பது கடினம் மற்றும் விலை உயர்ந்தது. 3D அச்சு மூலம் கணிசமாகக் குறைந்த செலவில் அச்சிடலாம். செயற்கை கை கால் தேவைப்படும் குழந்தைகள், அதைத் தாண்டி வளர மாட்டார்கள் என்பதை உறுதிப்படுத்திக் கொள்ள, ஒரு செயற்கை கை காலைப் பெறுவதற்கு முன்பு காத்திருக்க வேண்டியிருந்தது. இப்போது, சில மாதங்களுக்கு ஒருமுறை அவர்களுக்காக ஒரு புதிய செயற்கை கை காலை 3D அச்சிடலாம். சில மூன்றாம் உலக நாடுகளில், செயற்கை கை கால்கள் எட்டாத அளவு விலை அதிகமாக இருந்தன. அவர்கள் இப்போது 3D அச்சிட்ட கை கால்கள் விலை குறைவாக இருப்பதால் இவற்றைப் பயன்படுத்திக் கொள்ளலாம்.

பல் மருத்துவத்தில் **3D** அச்சிடல்

ஒவ்வொருவரின் பற்களும் வித்தியாசமாக இருப்பதால் தனிப்பயனாக்கம் (customization) இந்தத் துறையில் மிக முக்கியமான அம்சம். ஆகவே மேலும் மேலும் பல் மருத்துவ சாதனங்கள் பொருள்சேர் உற்பத்தி (additive manufacturing) மூலம் தயாரிக்கப்படுகின்றன..

நோயாளிகளின் பற்கள் கோணலாக வளருவதைத் தடுக்க அல்லது நகர்த்துவதற்குப் பயன்படுத்தப்படும் சாதனங்கள் பல் சீராக்கிகள் (aligners). அவற்றைத் தயாரிக்க, நோயாளியின் வாயின் வடிவமைப்பை வருடுவதன் (scan) மூலம் செயல்முறை தொடங்குகிறது, பின்னர் CAD மென்பொருள் பயன்படுத்தி கோப்பு தயாரிக்க வேண்டும். அதை நாம் பயன்படுத்தப் போகும் 3D அச்சு இயந்திரத்துக்கு ஏற்றுமதி செய்கிறோம். இதற்கு மிகவும் பொதுவாக பயன்படுத்தப்படும் தொழில்நுட்பம் பிசின் (resin) 3D அச்சிடல் ஆகும்.

தற்காலிக, மிகவும் துல்லியமான, அழகான பல் தொப்பிகள் (crowns) மற்றும் பாலங்கள் (bridges) பிசின் 3D அச்சு முறையில் உருவாக்கலாம். இத்தொழில்நுட்பம் பெருகிய முறையில் பிரபலமடைந்து வருகிறது, ஏனெனில் இது பாரம்பரிய அரைக்கும் (milling) செயல்முறைகளை விட மிகவும் செலவு குறைந்த மற்றும் விரைவான உற்பத்தியை அனுமதிக்கிறது. ஆனால் தற்போது 3D அச்சிட்ட பல் தொப்பிகள் மற்றும் பாலங்கள் பெரும்பாலும் தற்காலிகமானவையே.

அறுவை சிகிச்சையைத் திட்டமிடல்

மருத்துவ 3D மாதிரியமைத்தலுக்கான பொதுவான பயன்பாடுகளில் ஒன்று அறுவை சிகிச்சைப் பயிற்சி ஆகும். மனித உடற்கூறியல் மாதிரிப் பிரதிகள் (model replicas) மூலம், அறுவை சிகிச்சை நிபுணர்கள் புதிய நுட்பங்களைப் பயிற்சி செய்யலாம். பின்னர் அவற்றை ஒரு நோயாளிக்கு தேவைப்படும்போது நேரடியாகச் செய்ய முடியும். இது நுட்பமான நடைமுறைகளுக்கு அதிக அளவு துல்லியம் மற்றும் பிழை ஏற்படும் வாய்ப்பைக் குறைக்க வழிசெய்கிறது. மேலும் அறுவை சிகிச்சையைத் திட்டமிடும்போது மருத்துவக் குழு கலந்தாய்வுக்கு வருடிய (scan) தரவிலிருந்து 3D அச்சிட்டுத் தயாரித்த மாதிரிகள் பெரிதும் உதவுகின்றன.

திசு மற்றும் உறுப்பு மாதிரிகளை அச்சிடுதல்

தற்போது, மருந்துகள் மற்றும் சாத்தியமான சிகிச்சைகள் ஆராய்ச்சிக்கு உதவ, திசு மற்றும் உறுப்பு மாதிரிகளை அச்சிடுவதற்கு உயிரி அச்சிடுதல் பயன்படுத்தலாம். உயிரி அச்சிடுதல் என்பது திசுக்கள் மற்றும் வளர்ச்சிக் காரணிகள் போன்ற உயிரியல் பொருட்களை ஒன்றிணைத்து இயற்கையான திசு போன்ற கட்டமைப்புகளை

உருவாக்குவது. கூடுதலாக, 3D உயிரி அச்சிடுதல் சாரக்கட்டுகளை (scaffolds) அச்சிடத் தொடங்கியுள்ளது. மூட்டுகள் மற்றும் தசைநார்கள் (ligaments) மீள் உருவாக்க (regenerate) இந்த சாரக்கட்டுகளைப் பயன்படுத்தலாம். 3D அச்சிட்ட திசுக்கள், மருந்துகளின் பக்கவிளைவுகளைக் கண்டறியவும், பாதுகாப்பான அளவைச் சரிபார்க்கவும் செலவு குறைந்த பரிசோதனைக்காகவும் உதவுகின்றன.



கற்காரை பிதுக்கல் எந்திரம்

கட்டுமானத் துறைப் பயன்பாடுகள்

3D அச்சிடல் கட்டடக்கலையில் சிறிய அளவு மாதிரிகளை உருவாக்கப் பயன்படுகிறது

கட்டட உரிமையாளர்களுக்கு கட்டடக்கலை நிபுணர்கள் சிக்கலான வடிவமைப்புகளைக் காட்டி ஒப்புதல் பெறுவதற்கு சிறிய அளவு மாதிரிகள் மிகவும் பயனுள்ளவை. இது காணொளியைப் பார்ப்பதைவிட தத்ரூபமாக யாவருக்கும் புரியும். இத்தகைய சிறிய அளவு மாதிரிகளைக் குறைந்த செலவிலும் துரிதமாகவும் 3D அச்சிடல் மூலம் உருவாக்க இயலும்.

கட்டுமானத் துறையில் கற்காரை **(concrete)** பிதுக்கல்

இது கட்டடங்கள் மற்றும் பிற கட்டமைப்புகளை நிர்மாணிப்பதற்கான வேகமான மற்றும் குறைந்த செலவு செயல்முறையாகும். கற்காரை அச்சிடுவதற்காகவே வடிவமைக்கப்பட்ட பெரிய அளவிலான 3D அச்சுப்பொறிகள் மூலம் அடித்தளங்களை உருவாக்கி சுவர்களைக் கட்டட மனையிலேயே நேரடியாகக் கட்டலாம். அல்லது கற்காரை பாகங்களை தொழிற்சாலையில் அச்சிட்டு உருவாக்கி பின்னர் வேலை தளத்தில் தொகுக்கலாம்.

3D அச்சிட்ட பாலங்கள்

2016 ஆம் ஆண்டில், ஸ்பெயின் நாட்டில் மாட்ரிட் நகரத்தில் முதல் பாதசாரி பாலம் 3D அச்சிடப்பட்டது. இது 12 மீட்டர் நீளம் மற்றும் 1.75 மீட்டர் அகலத்தில் நுண்ணிய வலுவூட்டிய கற்காரையில் (micro-reinforced concrete) அச்சிடப்பட்டது. இது சர்வதேச கட்டுமானத் துறையில் ஒரு மைல்கல்லாக இருந்தது. பொது இடத்தில் பொதுப் பொறியியல் துறையில் 3D அச்சு தொழில்நுட்பத்தின் முதல் பெரிய அளவிலான பயன்பாடு ஆகும்.

2021 ஆம் ஆண்டில் உலகின் முதல் 3D அச்சிட்ட எஃகு பாலம் ஆம்ஸ்டர்டாமில் அறிமுகமாகியது. பாதசாரி போக்குவரத்தைக் கையாளும் அளவுக்குப் பெரிய மற்றும் வலிமையான 3D-அச்சிட்ட உலோக அமைப்பு இதற்கு முன் கட்டப்படவில்லை. இது கால்வாயின் குறுக்கே சுமார் 40 அடி நீளத்தில், வளைந்த 6-டன் துருப்பிடிக்காத எஃகு அமைப்பு.

இந்தியாவில் **3D** அச்சிட்ட கட்டடங்கள்

கடந்த ஆண்டு (2022) ஆகஸ்டு மாதத்தில் சென்னை ஐஐடி (IIT) முன்னாள் மாணவர்களின் நிறுவனம் (Tvasta Construction) 3D அச்சு தொழில்நுட்பத்தைப் பயன்படுத்தி ஒரு 600 சதுர அடி வீட்டைக் கட்டினார்கள். இதற்கான 3D அச்சு இயந்திரத்தையும் உள்நாட்டிலேயே தயாரித்துள்ளார்கள். இதற்கு காரை (cement), மணல், ஜியோபாலிமர்கள் (geopolymers) மற்றும் இழைகள் (fibres) கொண்ட சிறப்பான பிதுக்கக்கூடிய (extrudable) கற்காரைக் கலவை தயாரித்துள்ளார்கள். சுவரை சேதப்படுத்தாமல் நீர்க்குழாய்கள் மற்றும் மின்கம்பிகள் போடத் தோதாகச் சுவர்களில் வெற்றிடம் (hollow) விட்டு வடிவமைத்திருக்கிறார்கள். இந்தக் கட்டுமானம் ஐந்தே நாட்களில் உருவாக்கப்பட்டது. இது செயல்படும் வீட்டைக் கட்டுவதற்கு இன்று செலவிடப்படும் மொத்த

நேரத்தில் எட்டில் ஒரு பங்கு மட்டுமே ஆகும். மற்றும் தொழிலாளர் செலவுகள் மற்றும் பொருள் விரயத்தை வெகுவாகக் குறைக்கிறது. வழக்கமான கட்டட முறைகளில் வரும் கழிவுப் பொருட்களில் மூன்றில் ஒரு பங்குதான் இதில் வருகிறது.

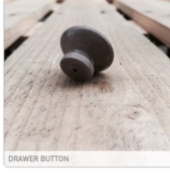


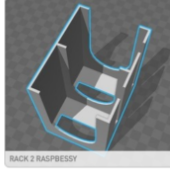














உதிரி மற்றும் பதிலி பாகங்கள்

உதிரி மற்றும் பதிலி பாகங்கள்

பல சந்தர்ப்பங்களில் பதிலி பாகம் **(Replacement Part)** மட்டும் தனியாகக் கிடைப்பதில்லை

தயாரிப்புகள் அல்லது சாதனங்களின் பாகங்களை இழந்தாலோ அல்லது உடைந்தாலோ அதன் விளைவுகள் சிரமமானவை முதல் நாசம் விளைக்கும் வரை இருக்கலாம். எடுத்துக்காட்டாக காரின் பின் விளக்கை மூடியுள்ள நெகிழி பாகம் உடைந்துவிட்டால் அதை மட்டும் மாற்ற இயலாது. முழு பின் விளக்குத் தொகுப்பையே மாற்ற வேண்டுமென்று சொல்லி செலவு மிக அதிகமாகிவிடும். ஏனெனில் தயாரிப்பு நிறுவனம் அந்தப் பதிலி பாகத்தை மட்டும் தனியாக விற்பதில்லை, முழுத் தொகுப்பாகத்தான் விற்பனை செய்கிறார்கள்.

மாற்று மற்றும் உதிரி (spare) பாகங்களை நுகர்வோரே உற்பத்தி செய்துகொள்ள 3D அச்சு முறை உதவுகிறது. கோளாறைச் சரி செய்ய அதிகச் செலவு செய்ய வேண்டிய நாட்களை மாற்றிவிடும்.

பழைய எந்திரங்கள் மற்றும் சாதனங்களுக்கு உதிரி பாகங்கள் கிடைப்பதேயில்லை

உங்களிடமுள்ள எந்திரங்கள் மற்றும் சாதனங்கள் பழைய மாதிரியாக இருக்கலாம். இவை

தற்சமயம் உற்பத்தியில் இல்லையென்றால் உதிரி பாகங்கள் சந்தையில் கிடைப்பது அரிது. ஒரு உதிரி பாகம் கிடைக்கவில்லை என்பதற்காக மதிப்புமிக்க எந்திரங்கள் அல்லது சாதனங்களை கழிவுப்பொருளாகத் தூக்கி எறிய வேண்டிவரும். எப்போதாவது வாங்கப்படும் மாற்றுப் பாகங்களை அதிக செலவில் சேமித்து வைக்க வேண்டிய பிரச்சினை உற்பத்தியாளர்களுக்கு இனி இருக்காது. மேலும் நுகர்வோர் தங்கள் பழைய மாதிரி பாகங்களை மாற்றுவதற்கான வாய்ப்பும் கிடைக்கும்.

பதிலி பாகம் தயாரிப்பு எடுத்துக்காட்டு

எடுத்துக்காட்டாக ஆஷ்லே அறைகலன் (Ashley Furniture) தயாரிப்பு நிறுவனத்தில் உள்ள பொறியாளர்கள் ஒரு புள்ளியிலிருந்து மற்றொரு புள்ளி வரை துளைபோடும் இயந்திரத்திற்கு (point to point drilling machine) வெற்றிடத் தக்கவைப்பு வளையத்தை (vacuum retainer ring) மாற்ற 3D அச்சைப் பயன்படுத்தினர். முழுத் தொகுப்பையும் ரூ 60,000 க்கு வாங்குவதற்குப் பதிலாக ரூ 100 க்கு கச்சாப் பொருள் வாங்கி மாற்றுப் பாகத்தை மட்டும் அச்சிட முடிந்தது. முதலில் தேய்ந்த பாகத்தின் வடிவத்தை வருடி (scan) ஒரு வரைபடம் தயாரித்தார்கள். அப்படத்தைக் கணினி உதவி பென்பொருள் (CAD – Computer Aided Design) பயன்படுத்தித் தேவையான மாற்றங்கள் செய்து 3D அச்சு எந்திரத்துக்கு அனுப்பத் தேவையான வடிவில் (format) சேமித்துக் கொண்டார்கள். இந்த வடிவத்தை வைத்து 3D அச்சு எந்திரத்தில் பாகத்தைத் தயாரித்தார்கள். மேற்படி கணக்கில் 3D அச்சு எந்திரம் மற்றும் பொறியாளர்களின் நேரச் செலவு சேர்க்கவில்லை.



தனிப்பயன் சட்டங்களை 3D அச்சிடுதல்

மூக்குக் கண்ணாடிகளும் அவற்றின் சட்டங்களும்

மூக்குக் கண்ணாடிகளை அவரவருக்குப் பொருந்துமாறு தனிப்பயனாக்கல் அவசியம்

பேரளவு உற்பத்தி செலவைக் குறைக்கும், ஆனால் தனிப்பயனாக்குவது கடினம் மற்றும் அதிக செலவாகும். மூக்குக் கண்ணாடிகள் மற்றும் அவற்றின் சட்டங்கள் தயாரிக்கும் தொழில்துறையில் அனைத்து விதமான மற்றும் அளவிலான முக வடிவங்களின் தேவையையும் பூர்த்தி செய்ய வேண்டும். ஆகவே மூக்குக் கண்ணாடிகள் மற்றும் அவற்றின் சட்டங்களை ஒவ்வொருவருக்கும் ஏற்ற மாதிரி தனிப்பயனாக்க வேண்டும். 3D அச்சிடலின் வரம்பற்ற திறனின் மூலம் இத்துறை முற்றிலும் பயனடைகிறது.

3D அச்சிடலின் மூலம் உருவாக்கிய தயாரிப்புகள் இலகுவானவை மற்றும் மிகவும் வசதியான கண்ணாடிகள். மேலும் கச்சாப் பொருள் குறைந்த அளவே வீணாகிறது. இத்துறையில் உள்ள சில நிறுவனங்கள் 3D அச்சு தயாரிப்பின் பண்புகளைப் பயன்படுத்தி வாடிக்கையாளர்களையே தங்கள் சொந்தக் கண்ணாடி சட்டங்களை வடிவமைக்க ஊக்குவிக்கின்றன. இது நிறுவனத்தின் வணிகச் சின்னத்தில் விசுவாசத்தை (brand loyalty) உருவாக்குவதற்கும் நுகர்வோருக்குத் தங்களுக்குத்

தோதாக வடிவமைக்க உரிமை கொடுக்கவும் சிறந்த வழியாகும்.

மூக்குக் கண்ணாடி வில்லைகளை **(lens) 3D** அச்சிட உதவும் தொழில்நுட்பம்

நெதர்லாண்டில் உள்ள லக்செக்சல் (Luxexcel) நிறுவனம் மூக்குக் கண்ணாடி வில்லைகளை 3D அச்சிடும் இயந்திரம், கச்சாப் பொருட்கள், மென்பொருள் மற்றும் செயல்முறை ஆகிய தொழில்நுட்பங்களை முழுமையாக மேம்படுத்தியுள்ளது. தனித்துவமான மற்றும் மிகவும் துல்லியமான இத்தொழில்நுட்பம், தயாரித்தபின் மேற்பரப்பு சீர்மை மற்றும் மெருகேற்றல் (polishing) செய்யத் தேவையில்லாமல் மூக்குக் கண்ணாடிகளைத் தயாரிக்க அனுமதிக்கிறது. இக்கருவி மூலம், ஆய்வகங்கள் மற்றும் இறுதியில் கண் பராமரிப்பு நிபுணர்கள் தங்கள் நோயாளிகளுக்குத் தனிப்பயன் கண்ணாடிகள் வடிவமைக்க முடியும்.

இது நாம் காகிதத்தில் அச்சிடப் பயன்படுத்தும் மைவீச்சு (inkjet) அச்சுப்பொறியைப் போன்றது. நெகிழி கச்சாப் பொருளை உருக்கி திரவமாக்கி துளித்துளியாக வீசுகிறது. இத்துளிகள் இறுகுவதற்குமுன் ஒன்றிணைவதால் எந்த பிந்தைய செயல்முறைகளும் இல்லாமல் மிகவும் சீரான, வழுவழுப்பான கண்ணாடி மேற்பரப்புகளைப் பெறுகிறோம். நாம் மிகச் சிறிய துளிகளைப் பயன்படுத்துவதால், மிகத் துல்லியமான வில்லைகளை உருவாக்க முடிகிறது. மேலும் ஒரே நேரத்தில் பல துளிகளைப் பீச்சுவதால் விரைவாக அச்சிட முடிகிறது.

மூக்குக் கண்ணாடி சட்டங்களையும் விருப்பமைவு செய்ய இயலும்

கண்ணாடிகளைத் தேர்ந்தெடுக்கும்போது, பொருளின் தரம், தேய்மான எதிர்ப்பு மற்றும் ஆயுள் ஆகியவை கணக்கில் எடுத்துக்கொள்ளப்பட வேண்டிய முக்கியக் கூறுகள். தரமான உற்பத்தி செய்ய, நைலான் (Nylon) பொதுவாக 3D அச்சு கண்ணாடி சட்டத்தில் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இப்பொருள் தேய்மான எதிர்ப்பு, நீடித்த ஆயுள் மற்றும் கட்டற்ற வடிவமைப்பு ஆகிய எதிர்பார்க்கப்படும் பண்புகளைக் கொண்டிருக்கிறது.

இந்த வேலைக்கு சீரொளி தேர்வு சிட்டங்கட்டல் (selective laser sintering – SLS) சிறந்த தேர்வாக இருக்கும். பசையைப் பீச்சுதல் (Binder Jetting – BJ) போன்ற தொழில்நுட்பத்தை உங்கள் படைப்புகளின் மேற்புறத்தில் நகாசுவேலை செய்யப் பயன்படுத்தலாம்.



வானூர்தி மற்றும் விண்வெளி **3D** அச்சிடுதல்

விண்வெளித் துறைப் பயன்பாடுகள்

விண்வெளித் துறையில் 3D அச்சிடலுக்குப் பல பயன்பாடுகள் உள்ளன. செயற்கைக் கோள்களின் எடையைக் குறைக்க அவற்றின் பாகங்கள் 3D அச்சு முறையில் தயாரிக்கப்படுகின்றன. பன்னாட்டு விண்வெளி நிலையத்தில் (International Space Station) பதிலி பாகங்கள் 3D அச்சு முறையில் தயாரிக்கப்படுகின்றன. அமெரிக்காவில் நாசா நிறுவனம் நிலா மற்றும் செவ்வாய் கோளில் தேவைப்படும் பொருட்களை அங்கேயே தயாரிக்கக்கூடிய 3D அச்சு எந்திரங்களை உருவாக்கி வருகிறது. இவற்றில் ஒரு எடுத்துக்காட்டாக ஏவூர்தி (rocket) 3D அச்சிடலைப் பற்றி இங்கு பார்ப்போம்.

தற்போது வழக்கத்தில் உள்ள ஏவூர்திகளின் வடிவமைப்பு

தற்போது வழக்கத்தில் உள்ள ஏவூர்திகளை இரண்டு அல்லது மூன்று நிலைகளாக (stages) வடிவமைக்கிறார்கள். ஒவ்வொரு நிலையிலும் எரிபொருள் சேமிப்பகம், பொறிகள் (engines) மற்றும் நுனிக்குழல் (nozzle) குளிரூட்டும் பாதைகள் உண்டு. இவற்றை ஏவும்போது எரிபொருள் தீர்ந்ததும் ஒவ்வொரு நிலையும் கழன்று விழுந்துவிடும். ஒவ்வொரு நிலையையும் பலநூறு பாகங்களாகத் தயாரித்துத் தொகுக்க வேண்டியிருக்கிறது. இதனால்

செலவும் அதிகம், தரக் கட்டுப்பாடு கடினமானது மற்றும் தயாரிக்க நேரமும் அதிகம் எடுக்கிறது.

3D அச்சு முறையில் ஏவூர்திகளைக் குறைந்த பாகங்கள் கொண்டு தயாரிக்க முடியும். ஏனெனில் நுனிக்குழல் குளிரூட்டும் பாதைகள் அமைக்கத் தேவையான சிக்கலான உள் வடிவமைப்புகளை 3D அச்சு முறையில் தயாரிக்க இயலும். இத்தொழில்நுட்பத்தைப் பயன்படுத்தி இந்தியாவில் செயல்படும் இரண்டு நிறுவனங்களைப் பற்றி விரிவாக இங்கு பார்ப்போம்.

ஹைதராபாத்தைச் சேர்ந்த ஸ்கைரூட் ஏரோஸ்பேஸ் **(Skyroot Aerospace)**

செப்டம்பர் 2020 இல், ஹைதராபாத்தை தளமாகக் கொண்ட ஸ்கைரூட் ஏரோஸ்பேஸ் அதன் முழுமையாக 3D இல் அச்சிட்ட கடுங்குளிர் முறை எரிபொருள் ஏவூர்திப் பொறியை (cryogenic rocket engine) வெளியிட்டது. அதன் விக்ரம் ஏவூர்தியின் மேல் நிலையில் இது உந்துவிசைக்காகப் பயன்படுத்தப்படும்.

2022 மே மாதத்தில் இந்நிறுவனம் அதன் விக்ரம் ஏவூர்தி கட்டத்தின் முழுக் கால சோதனை-கொளுத்துதலை (test-firing) வெற்றிகரமாக முடித்ததாக அறிவித்தது. இந்த ஏவூர்தி நிலை அதிக வலிமை கொண்ட கரிம இழை (carbon fiber) அமைப்பு, திட எரிபொருள், புதுமையான வெப்பப் பாதுகாப்பு அமைப்பு மற்றும் கரியால் ஆன நுனிக்குழல் (carbon ablative nozzle) ஆகியவற்றைக் கொண்டு கட்டப்பட்டது.

பின்னர் 2022 நவம்பர் மாதத்தில் தனது ‘விக்ரம்-எஸ்’ துணைக்கோள் ஏவூர்தியின் முதல் ஏவுதலை நிகழ்த்தி 89.5 கி.மீ வரை சென்று, விண்வெளியை அடைந்த முதல் இந்தியத் தனியார் நிறுவனமாக

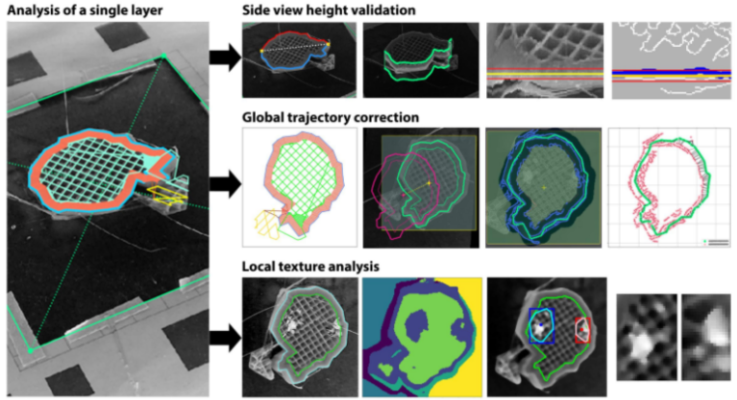
ஆகியது.

சென்னை ஐஐடி **(IIT)** அக்னிகுல் காஸ்மோஸ் **(Agnikul Cosmos)**

ஏவூர்திப் பொறிகளில் பொதுவாக நூற்றுக்கணக்கான பாகங்கள் இருக்கும். அவை பொறிக்குள் எரிபொருளை செலுத்தும் உட்செலுத்திகள் (injectors), பொறியைக் குளிரூட்டும் வாய்க்கால்கள், உந்துபொருட்களை பற்றவைக்கத் தேவையான பற்றவைப்பு (igniter) வரை. இவை அனைத்தையும் ஒரே ஒரு வன்பொருளாக இணைக்கும் வகையில் இந்த ஏவூர்திப் பொறி வடிவமைக்கப்பட்டது. எனவே, இது முழு இயந்திரத்தின் தயாரிப்பையும் எளிதாகவும் துரிதமாகவும் பிரச்சினையற்றதாகவும் ஆக்குகிறது.

பிப்ரவரி 2023 இல் பூமியின் சுற்றுப்பாதைக்குள் (sub-orbital) வான்பயணத்துக்கு ஏற்றுக்கொள்ளும் சோதனை வெற்றிகரமாக நடத்தப்பட்டது. இக்குறிப்பிட்ட சோதனையில், வான்பயணத்துக்கு ஏற்றுக்கொள்வதற்குத் தேவையான நேரத்திற்கு மேல் பொறி எரியவிடப்பட்டது. இப்பொறி முழுவதுமாக அக்னிகுலின் ஏவூர்தி தொழிற்சாலையில் தயாரிக்கப்பட்டது.

ஒரு 100 கிலோ செயற்கைக்கோளை 700 கிமீ சுற்றுப்பாதையில் நிலைநிறுத்தும் திறன் கொண்ட ஒரு நடமாடும் ஏவுதள அமைப்பாக இவர்கள் வடிவமைத்துள்ள அக்னிபான் கருதப்படுகிறது. ஏவூர்தி 18 மீட்டர் நீளமும் 1.3 மீட்டர் விட்டமும் 14,000 கிலோ எடையும் கொண்டதாக இருக்கும். இது திரவ ஆக்ஸிஜன் மற்றும் மண்ணெண்ணெய் அடிப்படையிலான பொறிகளை மட்டுமே பயன்படுத்தும். ஏவூர்தி முழுவதுமாக 3D அச்சு மூலம் தயாரிக்கப்பட உள்ளது.



திறந்த மூல 3D அச்சு தரக் கட்டுப்பாட்டுக் கணினிப் பார்வை அமைப்பு **Kaniyam Foundation Account Number : 606 1010 100 502 79 Union Bank Of India West Tambaram, Chennai IFSC – UBIN0560618 Account Type : Current Account**

உற்பத்தியின் தர உறுதிதான் பெரிய சவால்

வாகனத்துறை, கட்டுமானம், மருத்துவம் மற்றும் விண்வெளி போன்ற மிகவும் இக்கட்டு நிறைந்த பயன்பாடுகளுக்கு முப்பரிமாண அச்சிடல் பயன்படுத்தப்படுகிறது என்று பார்த்தோம். பாகத்தின் தரம் குறைவாக இருந்தால் எந்தத் துறையிலும் பிரச்சினைதான். ஆனால் இம்மாதிரி மிகவும் இக்கட்டு நிறைந்த துறைகளில் ஒரு பாகம் தரக்குறைவால் பழுதடைந்தால் உயிருக்குக்கூட ஆபத்து ஏற்படக்கூடும். ஏறக்குறைய 50% நிறுவனங்கள் தங்கள் 3D அச்சுப்பொறிகளைப் பயன்படுத்துவதில் தரக் கட்டுப்பாடுதான் அவர்களின் முக்கிய சவால் என்று கூறுகின்றன.

3டி அச்சிடலில் உள்ள தர பிரச்சினைகளின் வகைகள்

எடுத்துக்காட்டாக, நெகிழி பாகங்களில் கீழ்க்கண்ட வகைப் பிரச்சினைகள் எழக்கூடும்:

- அச்சிடும் தொடக்கத்தில் பிதுக்கப்படுவதில்லை: அச்சின் தொடக்கத்தில் அச்சுப்பொறி நெகிழியை வெளியேற்றுவதில்லை.
- படுக்கையில் ஒட்டுவதில்லை: முதல் அடுக்கு படுக்கையில் ஒட்டவில்லை ஆகவே அச்சு விரைவாகத் தோல்வியடைகிறது.

- குறைவான பிதுக்கல்: அச்சு போதுமான அளவு நெகிழியை வெளியேற்றுவதில்லை. ஆகவே சுற்றளவு மற்றும் நிரப்பு (infill) இடையே இடைவெளிகள் காணப்படுகின்றன.

- அதிகப்படியான பிதுக்கல்: அச்சுப்பொறி அதிகப்படியான நெகிழியை வெளியேற்றுகிறது. ஆகவே அச்சிட்ட பாகங்கள் மிகவும் சீர்குலைந்து காணப்படுகின்றன.

- மேல் அடுக்குகளில் இடைவெளிகள்: அச்சின் மேல் அடுக்குகளில் துளைகள் அல்லது இடைவெளிகள்.

- நெகிழி இழைகள் தொங்குதல்: பாகத்தின் வெவ்வேறு பிரிவுகளுக்கு இடையே நகரும் போது அச்சுத்தலை நிறைய சரங்கள் அல்லது முடிகளைப் பின்னால் விட்டுச் செல்கிறது.

- அதிக வெப்பம்: ஒல்லியான பகுதிகள் அதிக வெப்பமடைந்து சிதைந்துவிடுகின்றன.

- அடுக்கு நகர்தல்: அடுக்குகள் ஒன்றுக்கொன்று தவறாக அமைகின்றன.

தர உறுதி வடிவமைப்பிலிருந்தே தொடங்குகிறது

3D அச்சுக்கு வடிவமைக்கும் போது, ஒரு நல்ல பாகத்தின் தரத்தை உறுதிசெய்ய நீங்கள் சிந்திக்க வேண்டிய தொடர் பரிசீலனைகள் உள்ளன. எடுத்துக்காட்டாக சுவர் தடிமன், அச்சிடும் அறையில் பாகத்தின் நோக்குநிலை (part orientation in the chamber) மற்றும் கூர்மையான விளிம்புகளைத் தவிர்ப்பது ஆகியவை இதில் அடங்கும்.

உயர் தரத்தை உறுதிப்படுத்துவதில் தர ஆய்வு ஒரு முக்கிய பங்களிக்கிறது

எடுத்துக்காட்டாக பார்வை மூலம் ஆய்வு, பரிமாணங்களின் அளவீடுகள், பாகங்களை எடைபோடுதல் மற்றும் படங்களை எடுப்பதில் கவனம் செலுத்தவேண்டும். ஏற்படும் பிரச்சினைகளைச் சரிசெய்வதற்கு அச்சிடும் அளவுருக்கள், பயன்படுத்தும் கச்சாப் பொருட்கள், பிந்தைய செயலாக்கம் (post processing) அல்லது பாகத்தின் வடிவவியலை மாற்றலாம்.

திறந்த மூல **3D** அச்சு தரக் கட்டுப்பாட்டுக் கணினிப் பார்வை அமைப்பு

மிச்சிகன் தொழில்நுட்பப் பல்கலை (Michigan Technological University) ஆய்வாளர்கள் 3D அச்சு தரக் கட்டுப்பாட்டுக்கான கணினிப் பார்வை அமைப்பை உருவாக்கி திறந்த மூலமாகப் பகிர்ந்துள்ளார்கள். இது கணினிப் பார்வைக்கான ஓபன்சிவி (opencv) மற்றும் பல பைதான் நிரலகங்களைப் பயன்படுத்துகிறது. இது 3D அச்சு வேலை நடக்கும்போதே காணொளி படக்கருவி மூலம் கண்காணித்துத் தரக் கட்டுப்பாட்டு வேலையைச்செய்கிறது.

கணியம் அறக்கட்டளை



தொலை நோக்கு – **Vision**

தமிழ் மொழி மற்றும் இனக்குழுக்கள் சார்ந்த மெய்நிகர்வளங்கள், கருவிகள் மற்றும் அறிவுத்தொகுதிகள், அனைவருக்கும் கட்டற்ற அணுக்கத்தில் கிடைக்கும் சூழலை உருவாக்குதல்.

பணி இலக்கு – **Mission**

அறிவியல் மற்றும் சமூகப் பொருளாதார வளர்ச்சிக்கு ஒப்ப, தமிழ் மொழியின் பயன்பாடு வளர்வதை உறுதிப்படுத்துவதும், அனைத்து அறிவுத் தொகுதிகளும், வளங்களும் கட்டற்ற அணுக்கத்தில் அனைவருக்கும் கிடைக்கச்செய்தலும்.

எமது பணிகள்

- கணியம் மின்னிதழ் - kaniyam.com
- கணிப்பொறி சார்ந்த கட்டுரைகள், காணொளிகள், மின்னூல்களை இங்கு வெளியிடுகிறோம்.
- கட்டற்ற தமிழ் நூல்கள் - FreeTamilEbooks.com
- இங்கு யாவரும் எங்கும் பகிரும் வகையில், கிரியேட்டிவ் காமன்ஸ் உரிமையில், தமிழ் மின்னூல்களை இலவசமாக, அனைத்துக்

கருவிகளிலும் படிக்கும் வகையில் epub, mobi, A4 PDF, 6 inch PDF வடிவங்களில் வெளியிடுகிறோம்.

- தமிழுக்கான கட்டற்ற மென்பொருட்கள் உருவாக்கம்
- தமிழ் ஒலியோடைகள் உருவாக்கி வெளியிடுதல்
- விக்கி மூலத்தில் உள்ள மின்னூல்களை பகுதிநேர/முழு நேரப் பணியாளர்கள் மூலம் விரைந்து பிழை திருத்துதல்
- OpenStreetMap.org ல் உள்ள இடம், தெரு, ஊர் பெயர்களை தமிழாக்கம் செய்தல்.

மேற்கண்ட திட்டங்கள், மென்பொருட்களை உருவாக்கி செயல்படுத்த உங்கள் அனைவரின் ஆதரவும் தேவை. உங்களால் எவ்வாறேனும் பங்களிக்க இயலும் எனில் உங்கள் விவரங்களை kaniyamfoundation@gmail.com க்கு மின்னஞ்சல் அனுப்புங்கள்.

வெளிப்படைத்தன்மை

கணியம் அறக்கட்டளையின் செயல்கள், திட்டங்கள், மென்பொருட்கள் யாவும் அனைவருக்கும் பொதுவானதாகவும், முழுமையான வெளிப்படைத்தன்மையுடனும் இருக்கும். https://github.com/KaniyamFoundation/Organization/issues இந்த இணைப்பில் செயல்களையும், https://github.com/KaniyamFoundation/Organization/wiki இந்த இணைப்பில் மாத அறிக்கை, வரவு செலவு விவரங்களுடனும் காணலாம்.

கணியம் அறக்கட்டளையில் உருவாக்கப்படும் மென்பொருட்கள் யாவும் கட்டற்ற மென்பொருட்களாக மூல நிரலுடன், GNU GPL, Apache, BSD, MIT, Mozilla ஆகிய உரிமைகளில் ஒன்றாக

வெளியிடப்படும். உருவாக்கப்படும் பிற வளங்கள், புகைப்படங்கள், ஒலிக்கோப்புகள், காணொளிகள், மின்னூல்கள், கட்டுரைகள் யாவும் யாவரும் பகிரும், பயன்படுத்தும் வகையில் கிரியேட்டிவ் காமன்சு உரிமையில் இருக்கும்.

நன்கொடை

உங்கள் நன்கொடைகள் தமிழுக்கான கட்டற்ற வளங்களை உருவாக்கும் செயல்களை சிறந்த வகையில் விரைந்து செய்ய ஊக்குவிக்கும்.

பின்வரும் வங்கிக் கணக்கில் உங்கள் நன்கொடைகளை அனுப்பி, உடனே விவரங்களை kaniyamfoundation@gmail.com க்கு மின்னஞ்சல் அனுப்புங்கள்.